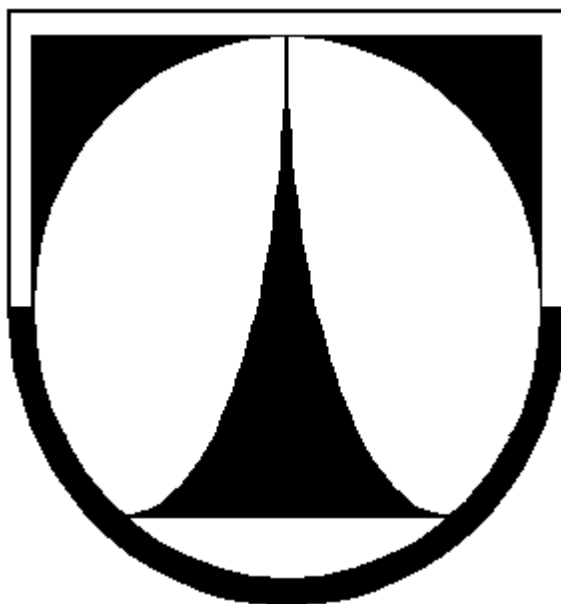


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ



DIPLOMOVÁ PRÁCE

LIBEREC2013

Bc. KVĚTA URBANCOVÁ

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA TEXTILNÍ



Studijní program: N3108 Průmyslový management
Studijní obor: 3106T014 Produktový management - Textil

VÝVOJ NEPORÉZNÍ MEMBRÁNY NA POLYMERNÍ VRSTVU NANOVLÁKEN

DEVELOPMENT OF HYDROFOIL MEMBRANE ON POLYMERIC LAYER OF NANOFIBERS

Bc. Květa Urbancová

KHT-164

Vedoucí diplomové práce: Ing. Roman Knížek

Rozsah práce:

Počet stran textu ...106

Počet obrázků34

Počet tabulek26

Počet grafů.....21

Počet příloh..2

Zadání diplomové práce:

Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 15.5. 2013

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

V úvodu bych ráda poděkovala vedoucímu diplomové práce panu Ing. Romanu Knížkovi za konzultace a odborné rady při řešení práce. Mé díky také patří panu Prof. Jakubu Wienerovi, který mě vedl při řešení experimentální části na katedře chemie. Poděkování patří také mým rodičům, kteří mě ve studiu podporovali.

ANOTACE

Práce se zabývá výrobou membrán s obsahem nanovláken pro outdoorové oděvní materiály.

Teoretická část této diplomové práce popisuje historii i současné významné výrobce oděvů s nanovláknovou membránou a jejich neustálý vývoj. Hlavními požadavky na výrobu membrán, které jsou větruodolnost, velmi dobrá paropropustnost a vysoký vodní sloupec.

Experimentální část se věnuje výrobě neporézní (hydrofilní) membrány s obsahem nanovláken, které byly dále testovány. Na závěr byly vybrány ze dvou odlišných roztoků ty nejlepší membrány, které měly velmi dobrou paropropustnost, větruodolnost a vysoký vodní sloupec. Na závěr byl z membrány vytvořen dvouvrstvý laminát, který byl otestován požadovanými laboratorními zkouškami a dále porovnán se světovými výrobci outdoorového oblečení.

ANNOTATION

This diploma thesis deals with production of membranes containing nanofibers for outdoor clothing.

Theoretical part of this thesis describes not only history, but also the current development in this area and contemporary producers of clothing with nanofabric membrane. Main requirements are wind resistance, water vapour permeability and high water column in this production area.

Experimental part deals with production of nonporous (hydrophilic) membranes containing nanofibres. Two best membrane with good water vapour permeability, wind resistance and high water column were chosen for creating two layers lamination for testing. At the end results of laboratory tests were compared with world producers of outdoor clothing.

KLÍČOVÁ SLOVA:

- hydrofilní membrána
- laminace
- paropropustnost
- prodyšnost
- vodní sloupec.

KEY WORDS:

- hydrophilic membrane
- lamination
- watervapor permeability
- permeability
- watercolumn

Obsah

I. ÚVOD	10
II. TEORETICKÁ ČÁST	11
1. Outdoorové materiály	11
1.1. Textilní membrány	11
1.1.1. Mikroporézní membrána	13
1.1.2. Hydrofilní membrána	13
1.1.3. Porovnání dostupných membrán na trhu	14
1.2. Lamináty	17
1.2.1. Třívrstvý laminát	18
1.2.2. Dvou a půl vrstvý laminát	19
1.2.3. Dvouvrstvý laminát	20
1.3. Podlepování oděvů	21
1.3.1. Nánosování	21
1.3.2. Podlepovací stroje	23
2. Nanovlákná	26
2.1. Historie elektrostatického zvlákňování nanovláken	26
2.2. Princip elektrostatického zvlákňování nanovláken	27
2.2.1. Vybrané metody elektrostatického zvlákňování	28
2.2.2. Metoda nazvaná Nanospider	29
2.3. Polyamid 6 (PA 6)	30
2.3.1. Pořízení snímků nanovláknenné vrstvy	32
3. Polymery	34
3.1. Polyvinylalkohol (PVA)	34
3.1.1. Použití polyvinylalkoholů	35
3.1.2. Chemie polyvinylalkoholů	35
3.2. Polyuretany	35
3.1.1. Použití polyuretanů	36
3.1.1. Chemie polyuretanů	36
4. Komfort outdoorového oblečení	37
4.1. Komfort při užívání outdoorového oděvu	37
4.1.1. Termofyziologický komfort	37
4.2. Požadované vlastnosti pro outdoorové oblečení	38
4.2.1. Paropropustnost –propustnost textilií pro vodní páry	38
4.2.2. Prodyšnost –propustnost textilií pro vzduch	40
4.2.3. Hydrostatická odolnost –výška vodního sloupce	42
III. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	45
5. Laboratorní zkoušky, které byly provedeny na hydrofilní membráně	45
5.1. Zjišťování plošné hmotnosti	45
5.2. Zjišťování tloušťky materiálu	46
5.3. Zjišťování propustnosti vodních par	48
5.4. Zjišťování prodyšnosti materiálu	48
5.5. Zjišťování hydrostatické odolnosti	49
5.6. Zjišťování pevnosti materiálu	50
6. Statistické zpracování naměřených hodnot	53
7. Popis přípravy vzorků	54
7.1. Popis nanovláknenné vrstvy	54
7.2. Membrána s roztokem z polyvinylalkoholu (PVA)	56
7.3. Membrána s roztokem z polyuretanu (PUR)	59
7.4. Vrchová textilie	64
7.5. Dvouvrstvý laminát	64
7.5.1. Dvouvrstvý laminát PVA	66

7.5.2. Dvouvrstý laminát PUR	67
8. Laboratorní zkoušky, které byly provedeny na hydrofilních membránách	68
8.1. První výsledky měření PVA.....	68
8.2. První výsledky měření PUR.....	68
8.3. Diskuse výsledků	93
IV. ZÁVĚR.....	98

Seznam použitých symbolů a zkratek

atd.	a tak dále
tzn.	to znamená
např.	například
ČSN	česká státní norma
EN	evropská norma
ISO	mezinárodní organizace pro normalizaci
p [%]	relativní propustnost pro vodní páry
Ret[Pa.m ² /W]	výparný odpor
q ₀ [W/m ²]	tepelný tok procházející měřicí hlavici nezakrytou měřeným vzorkem
q _v [W/m ²]	tepelný tok procházející měřicí hlavici zakrytou měřeným vzorkem
\bar{x}	aritmetický průměr
s	výběrová směrodatné odchylka
s ²	rozptyl v variační koeficient
95% IS	95% interval spolehlivosti
%	procenta je způsob, jak vyjádřit část celku pomocí celého čísla
°C	stupeň Celsia je jednotkou teploty
g/m ²	jednotka pro plošnou hmotnost
kg	kilogram, základní jednotka hmotnosti
l/m ² /s	jednotka prodyšnosti vzduchu přístroje FX3300 Air Permeability TesterIII
m	metr je základní jednotkou délky
m ²	metr čtvereční je základní jednotkou obsahu
mm	milimetr
nm	nanometr
μm	mikrometr
g	značka gramu, 1 g je 0,001 kg
Pa	Pascal je základní jednotkou tlaku.
m ² .Pa/W	jednotka absolutní propustnosti vodních par
s	značka sekundy, základní jednotky času v soustavě SI
F[N]	síla
N	Newton odvozená jednotka soustavy SI pro sílu
PUR	polyuretan
PVA	polyvinylalkohol
PES	polyester
PTFE	polytetrafluoretylen
PVC	polyvinylchlorid
PA6 -	polyamid 6
v.s.	[mmH ₂ O] výška vodního sloupce
obr.	Obrázek
Tab.	Tabulka
H ₂ O	voda

I. ÚVOD

Tématem této diplomové práce jsou „Vývoj neporézní membrány na polymerní vrstvu nanovláken“.

Ze strany uživatelů jsou tyto výrobky velmi žádané, a to nejen při provozování vrcholových sportů, ale i turistice a nebo jen při rekreačním sportu. Nositel si outdoorové oblečení velice rychle oblíbí nejen pro jeho komfort při nošení, ale i pro malou hmotnost oděvu, snadnou údržbu a mnoho dalších výhod, které tyto materiály mají.

Membrána tvoří důležitou součást laminátu svrchního oděvu, z kterého je zhotoven konečný výrobek. Nanovlákená membrána se zátěrem má zvyšovat naše pohodlí při nošení.

Práce je zaměřena na výrobu hydrofilní membrány, kdy na nanovlákenou vrstvu jsou nanášeny dva různé roztoky. První roztok nanášený na nanovlákenou vrstvu je polyvinylalkohol. Druhý roztok nanesený na nanovlákeny je polyuretan, který jsme na základě fyziologických vlastností dále modifikovali. Nanesený hydrofilního polymeru na nanovlákené vrstvě jsou testovány na mechanické a aplikační vlastnosti. Výsledky jednotlivých měření jsou porovnány a zpracovány.

Výstupem diplomové práce by měla být zcela nová hydrofilní membrána, která by vykazovala nejlepší vlastnosti s kritérii na outdoorové oblečení. Dále bude z membrány vytvořen laminát, který podrobíme stejným zkouškám jako samotnou membránu.

II. TEORETICKÁ ČÁST

1. OUTDOOROVÉ OBLEČENÍ

Outdoorové oblečení se vyvíjí od třicátých let, kdy toto období se neslo ve znamení objevů. Již šedesátá léta přinesla sebou první patent a mezinárodní uznání ve vývoji outdoorového oblečení. Nepromokavý, větruodolný a paropropustný výrobek se stal dostupný i mezi spotřebiteli v sedmdesátých letech. V osmdesátých letech se díky inovacím objevuje na trhu mnoho nových výrobků pro náročné spotřebitele. Dalším vývojem a inovací se outdoorové materiály podrobují dodnes, kdy jsou na tyto materiály kladeny velké nároky.

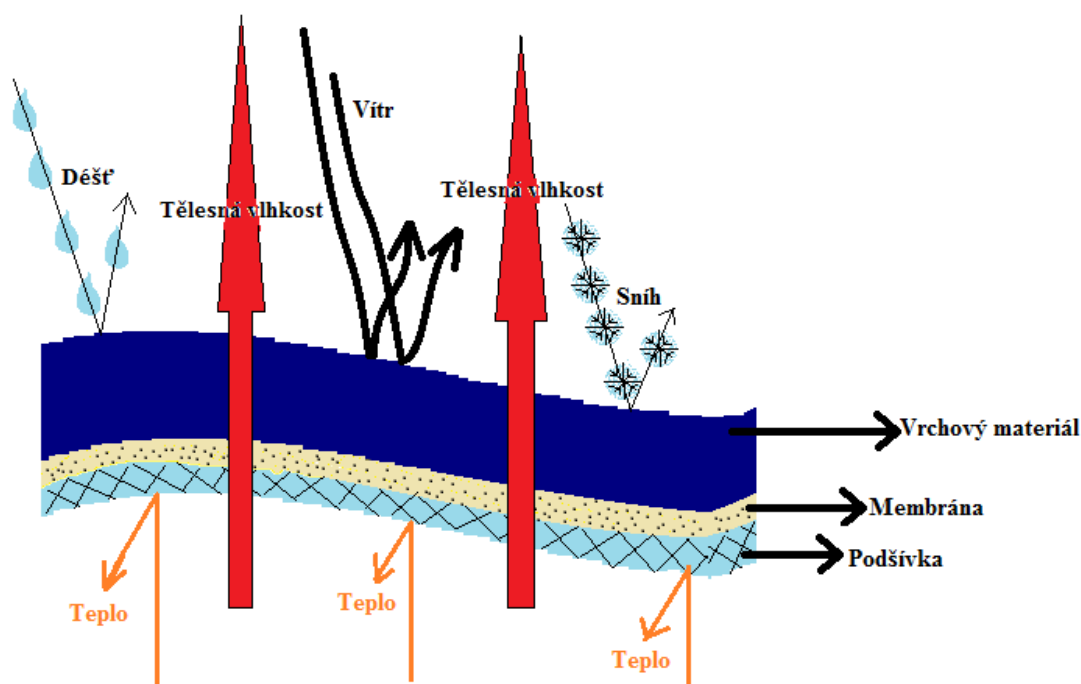
Outdoorové oblečení je vhodné nejen pro splnění pohodlí při extrémních sportech bez výjimky na podnebí, ale i pro maximální pohodlí zákazníka. Udržují fyziologický komfort nositele při aktivních sportech. Toto oblečení je opatřeno několika úpravami, které jsou například nepromokavost, větruodolnost, paropropustnost výrobku a mnoho dalších. Vysokou prodyšnost materiálu ocení zákazník při velké fyzické aktivitě, kdy mu zajistí celodenní komfort.

Svrchní outdoorové oblečení je tvořeno z laminátu (vrchový materiál, membrána a podšívka). Oblečení je laminováno ze dnou, tří a nebo dvou a půl vrstev, kdy membrána zvyšuje naše pohodlí při nošení. Vrchový a podšívkový materiál je volen z vysoce paropropustné a odolné textilie. Odlišnost materiálu určuje druh sportu a oděvu, kdy se vyrábí oděvy, jak pro horní část těla, tak i pro dolní, obuv a rukavice. Vrchový a podšívkový materiál je volen pro každý druh sportu a jiný. [1]

1.1. Textilní membrány

V oděvním výrobku plní membrána nejdůležitější úkol, a tím je pohodlí nositele. Membrány se používají nejen do bund, kalhot, ale také např. rukavic a obuvi. Nejčastěji jsou vyráběny membrány z polymerních materiálů jako je například PTFE, PES a nebo PUR. Tloušťka membrán pohybuje v jednotkách mikrometrů.

Membrána plní tři základní funkce: nepromokavost, větruodolnost a paropropustnost. Vlastnosti jako je nepromokavost a větruodolnost splňuje produkt, který je na trhu již několik generací, a tím je pláštěnka do deště. Pláštěnky jsou vyráběny z PVC a PE materiálů, které jsou zcela neprodyšné. V tomto produktu je komfort zákazníka zcela minimální. [1,2]



Obr.1: Funkce membrány.

Funci membrány vidíme na obr.1, kdy na vrchový materiál působí vnější vlivy jako je např. déšť, sníh a vítr. Chemicky ošetřený vrchový materiál zamezí proniknutí vnějších vlivů z okolního prostředí, ale současně je paropropustný.

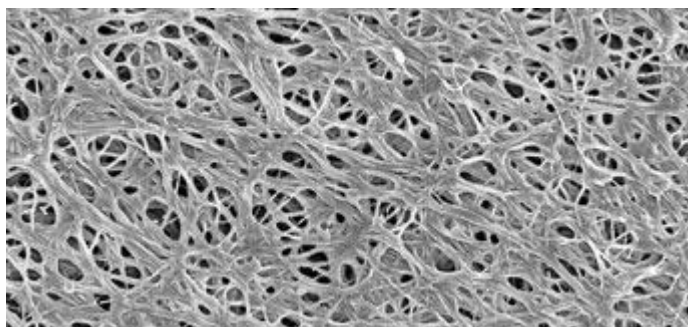
Membrána, která je laminována mezi vrchový a podšívkový materiál splňuje daleko větší nároky než jen chemicky upravený vrchní textilie oděvu. Lehkou bundu z dvouvrstvého laminátu, který se skládá z vrchového materiálu a membrány, kdy vnitřní strana membrány musí být chráněna před poškozením, např. firma Gore-Tex místo podšívkového materiálu nanáší vrstvu karbonových vláken, a tím zajišťuje ochranu membrány. V dnešní době se zcela ojediněle se můžeme setkat i s volně vloženou membránou mezi vrchový a podšívkový materiál, která nám nezajišťuje tak velkou paropropustnost jako laminát. Aby byla zachována funkčnost svrchního oblečení, je

důležité si obléknout pod bundu funkční oblečení. Správné vrstvení oděvu nám zajistí co možná nejlepší komfort při nošení.

Současný trh s textilními membránami nám nabízí dva druhy mikroporézní a neporézní.

1.1.1. Mikroporézní membrána

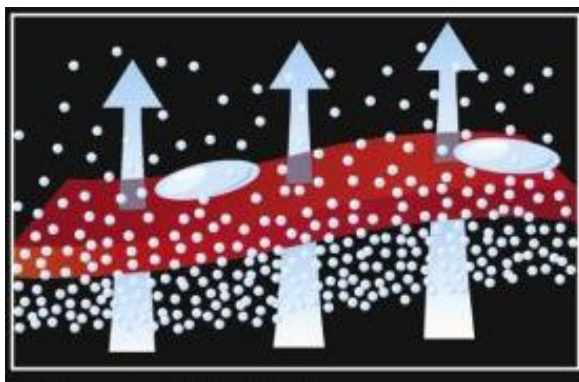
Mikroporézní membrána je založena na principu pronikání vodních par mikroskopickými póry na vnější stranu oděvu, kde se odpařuje z povrchu textilie do vnějšího prostředí. Kapka vody z vnějšího prostředí póry však neproniknou, jelikož jsou 20000krát menší než kapka vody. Výrobce mikroporézních membrán je firma Gore-Tex. Vyrábí membránu s více jak miliardou mikroskopických pórů na centimetr čtvereční. [1]



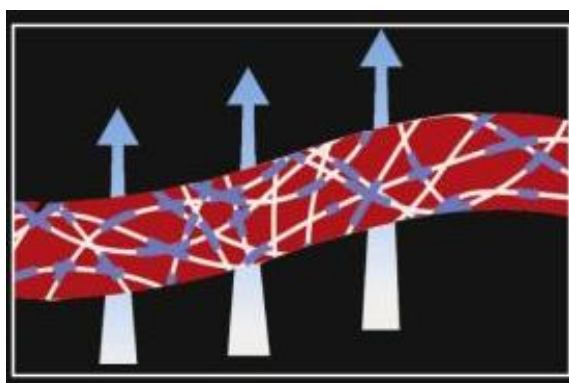
Obr.2: Mikroporézní membrána, zdroj [4].

1.1.2. Hydrofilní membrána

Hydrofilní membrána nemá ve své struktuře žádné póry. Její funkce přenosu vlhkosti od těla do okolního prostředí je založena na chemicko-fyzikálním principu, kdy se voda stává součástí membrány do své hydrofilní složky absorbuje vlhkost z těla. Když je membrána nasycena vlhkostí jsou molekuly vodní páry uvolňovány odpařováním do okolního prostředí viz. následující obrázky (Obr.3,Obr.4). [3]



Obr.3: Odvod vlhkosti neporézní (hydrofilní) membránou firmy Sympatex, zdroj [3].



Obr.4: Chemický transport potu na vnější stranu textilie a dále do okního prostředí, firma Sympatex, zdroj [3].

Výrobci hydrofilních membrán Gelanots XP a již zmiňovaná firma SympaTex.

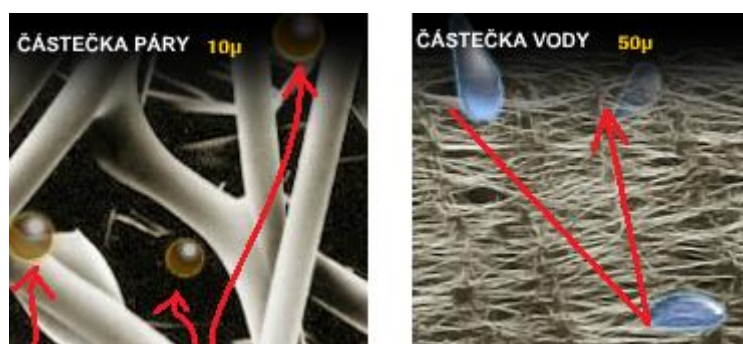
[3,5,]

1.1.3. Porovnání dostupných membrán na trhu

a) GoreTex®

Materiály GORE-TEX® vznikají laminací vysoce odolných textilií s membránou GORE-TEX®, kdy podlepení švů zajistí nepromokavost. Membrána je mikroporézní. Výrobce o své membráně udává: trvalá nepromokavost, vysoká prodyšnost, extrémní odolnost vůči mrazu, vynikající odolnost při ohybu a nesrovnatelně dlouhá životnost. Firma GORE-TEX® vyrábí tzv.dvousložkovou membránu. Jedna část membrány je vyrobena z expandovaného PTFE (polytetrafluorethylenu), která obsahuje více než 1,4

miliardy mikroskopických pórů na centimetr čtvereční. Póry jsou zhruba 20000krát menší než kapka vody, ale 700krát větší než molekula vodní páry. Z toho plyne, že molekula vody v kapalném stavu nemůže membránou GORE-TEX® proniknout, kdežto vodní pára (pot) projde snadno. Druhá část membrány se skládá z polyuretanové vrstvy. Tato vrstva chrání membránu před znečištěním např. oleji, kosmetickými přípravky, repelenty a složky potravin. [1]



Obr.5: Funkce membrány GORE-TEX®, zdroj [1].

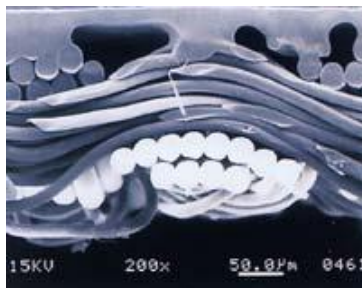
b) SympaTex® [3]

Firma Sympatex vyrábí membrány, které pracují na systému hydrofilním. Hydrofilní membrány a jejich způsob odvodu vlhkosti jsou popsány výše. Výrobky splňují vysoký standard a jsou šetrné k životnímu prostředí. Výrobky jsou zcela recyklovatelné. Při nošení nezpůsobují zákazníkovi žádné zdravotní riziko. Nezávislé testování Hohenstein Institute potvrdilo, že je membrána extrémně paropropustná (hodnocení $R_{et}=0,5\text{Pa}\cdot\text{m}^2/\text{W}$). Membrána SympaTex společně s nosnou textilií dokáže odolat tlaku vodního sloupce až do 25m i po praní a chemickém čištění. Dále je 100% větru vzdorná v jakémkoli počasí. Výrobce dále udává, že je membrána nejtenčí na světě a to: od 5μm do 0,005mm, kdy standardní mikroporézní membrány se pohybují v rozmezí od 25μm do 35μm.

c) Gelanots XP

Gelanots XP vyrábí textilní Japonská firma TonenCorporation. Jedná se o hydrofilní membránu, která se laminuje do sportovních oděvů. Membrána také zaručuje ochranu proti dešti, větru a zároveň odvod vlhkosti od těla. Dále zaručuje konstantní mikroklima na povrchu těla jak v klidu, tak i při fyzicky namáhavém sportu. Mikroporézní

membrána má menší životnost než hydrofilní tím, že nejsou zanešené póry např. solemi a tuky z potu, nečistotami a čisticími prostředky. Membrána je vyrobena ze speciálního druhu polyuretanu. Vodní sloupec laminátu s membránou Gelanots XP je již od 20m, kdy záleží, který druh oděvu zvolíme. Paropropustnost výrobce udává $20000 \text{ g H}_2\text{O/m}^2$ za 24hodin. [5]



Obr.6: Řez membránou Gelanots, zdroj [5].

d) BlokVent

Další firmou, která vyrábí dvou a tří vrstvý laminát s polyuretanovou membránou je firma BlokVent. Membrána je určena do extrémních podmínek a pro náročné fyzické aktivity, jako je např. expedice, horolezectví, ski-alpinismus atd. laminát má velmi dobrou větruodolnost, vysoký vodní sloupec a současně je paropropustná. Výrobce udává, že neporézní membrána má vynikající vlastnosti i při vysoké flexibilitě, schopnost zotavení i po extrémním vytažení a stále má stejné vlastnosti, vydrží i dlouhodobé používání, použitelnost oblečení je i při velmi nízkých teplotách. Snadná údržba výrobku a membrána je šetrná k životnímu prostředí. Firma BlokVent na svrchní oděvy používá voduodpudivou úpravu. Dále firma udává u dvouvrstvého laminátu: plošná hmotnost 115 g/m^2 , výšku vodního sloupce 20 000mm a paropropustnost $30\,000 \text{ g/m}^2/24 \text{ hod.}$ U třívrstvého laminátu udává: plošná hmotnost 117 g/m^2 , výška vodního sloupce 20 000mm a paropropustnost $30\,000 \text{ g/m}^2/24 \text{ hod.}$ [20]

e) Diaplex

Diaplex vyrábí hydrofilní membránu, která je vyrobena z polyuretanu s tvarovou stálostí. Výhodou této membrány je, že využívá mikro-Brownian pohyb. Mikro-Brownian pohyb vznikne uvnitř membrány, když teplota okolí roste nebo naopak klesá pod určitou hranici. Pokud teplota klesá, vytváří se souvislý polymerní povrch a méně prochází skrz oděv paropropustnost s teplotou. Naopak, když teploty stoupají, roste i mikro-Brownian pohyb, a tím zajistí větší prostupnost tepla a vodních par skrz oděv. Vysoká absorpce zajišťuje, že nedochází ke kondenzaci vodních par na vnitřní straně oděvu. Absorbovaná voda je vedena difúzí skrz oděv až na povrch oděvu. Firma Diaplex vyrábí membrány, které vydrží tyto parametry: vodní sloupec 20000 až 40000 mm, paropropustnost 8000 až 12 000 g/m²/24 hod. [21]

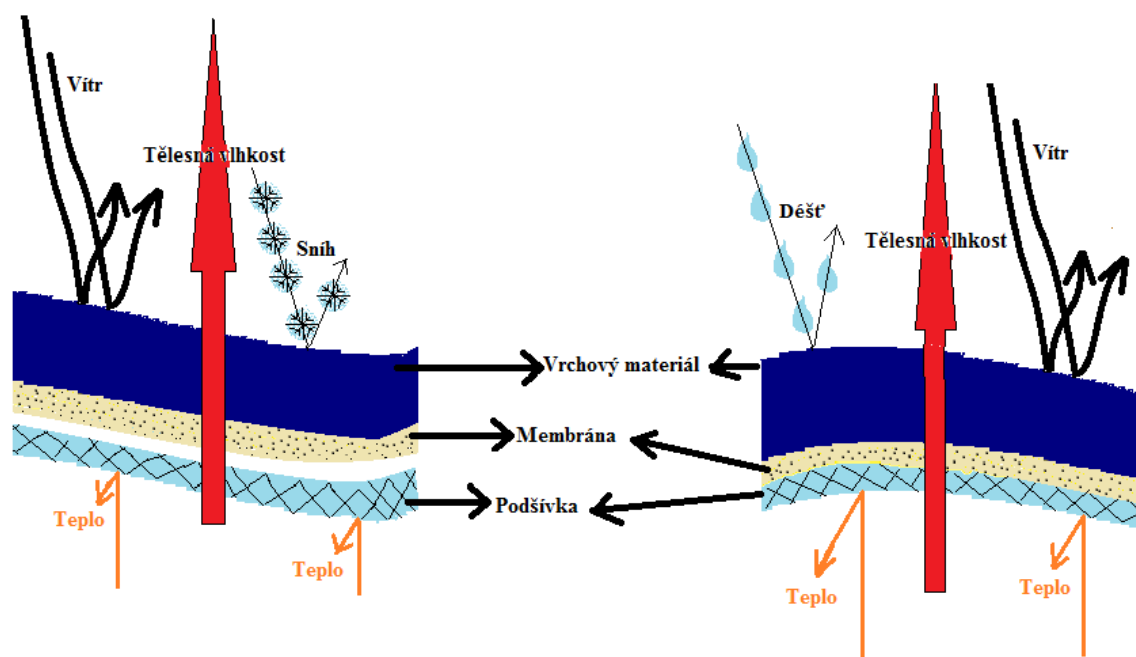
1.2. Lamináty

Laminování je spojení dvou a více textilních materiálu stejného či různého složení, kterým vzniká laminát. Spojení dvou a více vrstev je lepením nebo tavením termoplastických pojiv, příp. lisováním. Pojivo se většinou používá organosoly PVC nebo polyamidové pasty, kdy jsou nanесeny bodově nebo v celé ploše textilie. Pro vrchový outdoorový materiál se často volí spojení laminací vrchového a podšívkového materiálu s membránou. Laminování vrchového materiálu s membránou zvyšuje odolnost proti poškození, kdy membrána plní úkol nepropustit vodu zvenčí, ale zároveň umožnit prostup vodních par.

Níže je podrobně popsáno rozdělení a výhody/nevýhody jednotlivých laminátů.

1.2.1. Třívrstvý laminát

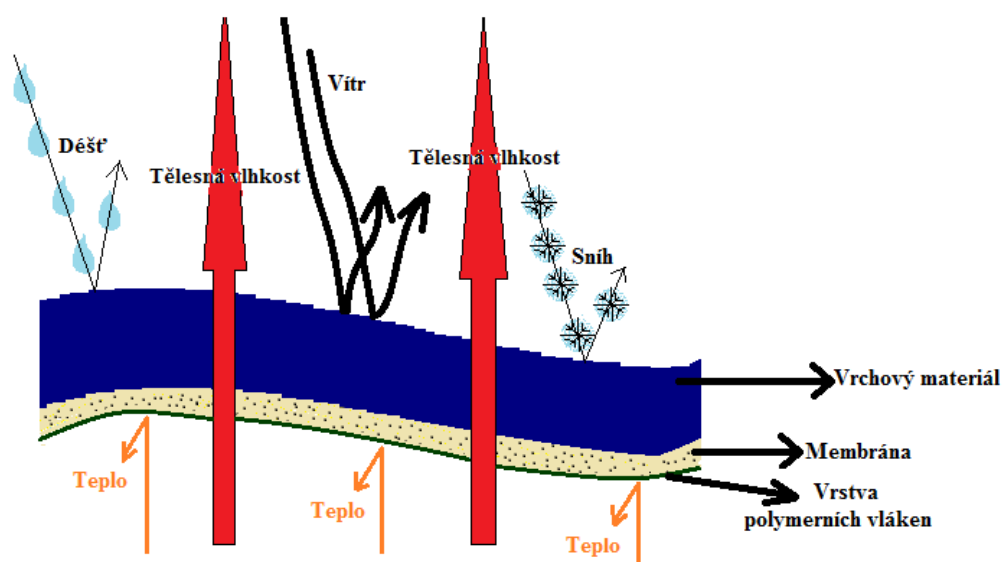
Třívrstvá laminace je nejběžnější, kdy je tvořen z vrchového materiálu, membrány a podšívky jeden slaminovaný kompaktní celek (pravá polovina obr.7). Třívrstvý laminát tvoří mechanicky velice odolný celek na úkor poddajnosti nově vzniklého materiálu. U dvouvrstvého laminátu není membrána chráněna z vnitřní strany, ale u třívrstvého laminátu podšívkový materiál chrání membránu z vnitřní strany. Může vzniknout laminát s volnou podšívkou (levá polovina obr.7). Volný podšívkový materiál u oděvu snižuje paropropusnost, jelikož mezi podšívkou a membránou je vzduchová mezera, která ovlivňuje odpor vodních par. Další nežádoucí činitel je třecí síla, která vzniká při nošení oděvu mezi membránou a podšívkou a tím ovlivňuje životnost membrány. Použití volné podšívky se v dnešní době objevuje velice zřídka.



Obr.7: Třívrstvý laminát.

1.2.2. Dvou a půl vrstvý laminát

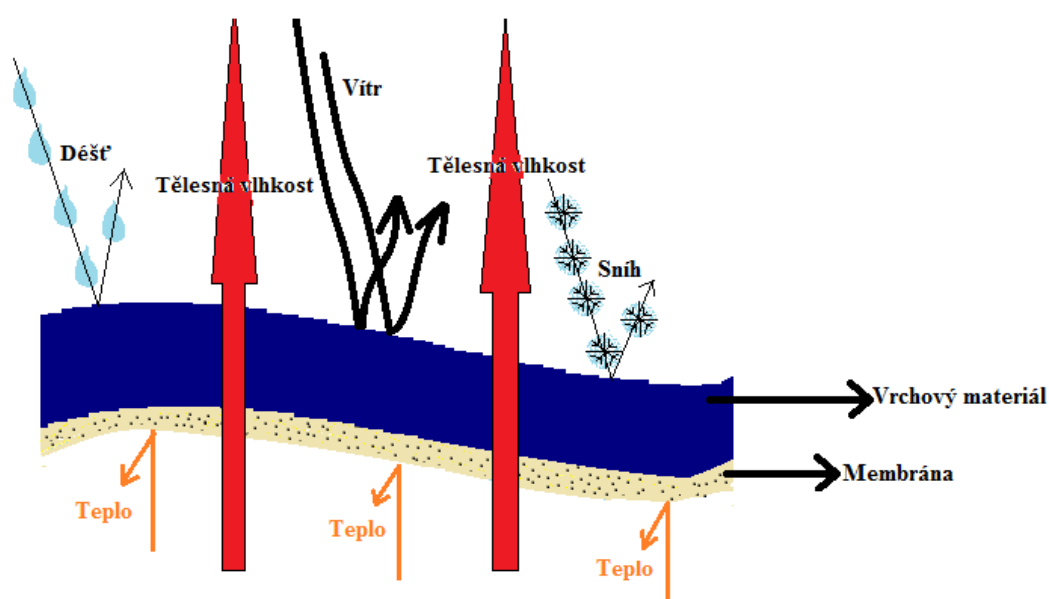
Vrchový materiál je nalaminován s membránou a vnější strana je chráněna vrstvou polymerních vláken nebo tiskem (obr.8). Při aplikaci polymerní vrstvy nebo potiskem přímo na vnější stranu membrány lépe laminát odvádí pot od těla oproti volné podšívce.



Obr.8: Dvou a půl vrstvý laminát.

1.2.3. Dvouvrstvý laminát

Dvouvrstvý laminát, jak je vidět na obr.9, je tvořen vrchovým materiálem a membránou. Z vnější strany není podšívka chráněna, a tím vzniká poškození vlivem třecí síly mezi nositelem a membránou. Další nevýhodou nechráněné membrány z vnitřní strany je špatný ochranný prvek před znečištěním např. potem. V porovnání tohoto laminátu a třívrstvého je stejně voděodolný, ale je propustnější a má menší plošnou hmotnost.



Obr.9: Dvouvrstvý laminát.

1.3. Podlepování oděvů

Zavedení technologie podlepování je v oděvním průmyslu považován za významný mezník. Pojivo i technologie pojení se stále vyvíjí. Podle druhu pojiva se dělí spojení na trvalé, anebo dočasné. Dále se hledají způsoby jak podlepování zproduktivnit a vyvíjet nové podlepovací stroje.

V této části se budeme zabývat podlepením, které bylo použito v experimentální části. Byl vytvořen dvouvrstvý laminát, kdy byla spojena membrána a vrchový materiál.

1.3.1. Nánosování

Proces nánosování spočívá v nanesení a upevnění polymerní vrstvy lepidla na základní textilií. Při procesu musíme dbát, aby vznikl co nejlepší laminát, a proto musí být sladěna nánosová hmota a nosná textilie s množstvím a velikostí bodů nanášeného pojiva. Vlastnosti laminátu např. měkký omak, dobrá trvanlivost, nesmí proniknout pojivo skrz laminované textilie.

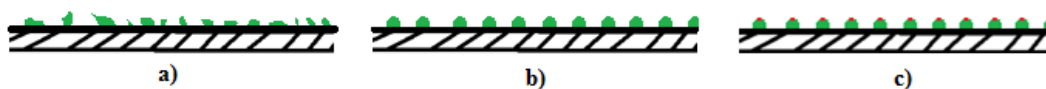
Pojivá vrstva může být spojitá (obr.10) nebo nespojitá (obr.11). Při výrobě laminátu je však použita nespojitá vrstva pojiva, kdy se dosahuje menší tuhosti, měkkčímu omaku a dobré propustnosti vzduch a vodních par.



Obr.10: Znáznornění spojité pojivé vrstvy.

K vytvoření nespojité vrstvy se používají tyto technologické principy:

- nánosování posypem – nepravidelné rozmístění pojiva (Obr.11 a),
- nánosování tiskem – pravidelné rozmístění pojiva (Obr.11 b),
- nánosování tiskem a posypem - bikomponentní bod (Obr.11 c),
- nánosování z taveniny – Hotmelt.



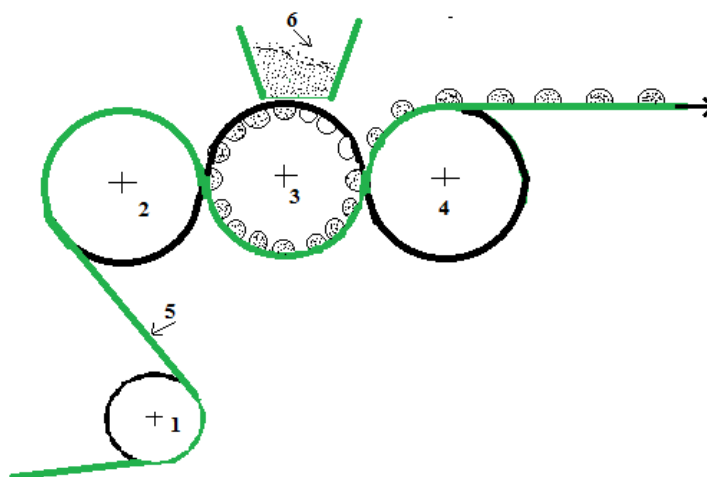
Obr.11: Znáznornění nespojité pojivé vrstvy
(vytvořený a) posypem, b) tiskem, c) bikomponentní bod).

V experimentální části byla použita nespojitá vrstva vytvořená technologií tiskem, kdy jsou pojivé body umístěny pravidelně a dále se budeme věnovat pouze tomuto způsobu.

Nánosování tiskem - Práškový bodový způsob

HLUBOTISKOVÝ ZPŮSOB

Při tomto způsobu nánosování je hlavním pracovním ústrojím strojů dvouválcový nebo tříválcový kalandr. Jeden z válců je válec nánosovací, kdy je opatřen gravurou odpovídajícímu vzoru nánosu. Ostatní válce mají hladký povrch a jsou uzpůsobeny pro vytápění kapalným médiem. Násypka s polymerním práškovým pojivem přiléhá k nanášecímu válci viz obr.12.



Obr.12: Zařízení pro nánosování hlubotiskem prášku.
(1, 2- předhřívací válce, 3 nanášecí válec, 4 –vyhřívavý válec, 5- textilie,
6- násypka s práškovým polymerním pojivem).

Principem hlubotiskového způsobu nánosování spočívá, že jemné částice práškového pojiva jsou schopny se při určité teplotě spojit do většího celku. Tento jev je zpravidla označován jako efekt sněhové koule. Textilie prochází přes předehřívací válce a je předehřátá na teplotu 50 až 70°C. Teplota textilie je vyšší než teplota tání polymerního pojiva. Při styku textilie s nanášecím válcem dochází k přenosu aglomerního útvaru pojiva z gravury na textili. Nanášení pojiva na textili je přesné. Dále jsou upevněné kupičky prášku na textili v infračerveném poli, kdy vzniknou upevněné body na nosné textili. [15]

Práškové pojivo má velikost částic v rozmezí 80 až 200 μ m, kdy je preferován pro gravury tiskacích válců s hustotou v rozmezí 11 až 17 mesh. Gravury tiskacích válců s jemnějšími body (mesh 25 až 40) vyžadují jemnější zrnka polymerního pojiva.

Materiály pro proces práškového bodového nánosování nesmí být citlivé na teplotu (materiály vyrobené z přírodních nebo i některé syntetické vláken).

Využití jak v oděvním, tak i v obuvnickém průmyslu. Za výhody lze považovat měkký omak, stejnoměrnost nanášení pojiva na textili a v neposlední řadě kontrolovatelný způsob nánosu. [16]

1.3.2. Podlepvací stroje

Podlepvací stroj vytváří optimální podmínky pro vytvoření spoje laminátu, kdy v experimentální části je trvalé spojení vrchového materiálu a membrány (dvouvrstvý laminát). Podlepvací stroje musí být technicky řešen a vybaven tak, aby splnil přesnou regulovatelnost parametrů podlepvání (teplota, tlak, a čas).

Požadavky na podlepvací stroje:

- Regulovatelnost podlepvacích parametrů:
 - Teplota $T[^\circ\text{C}]$ (termostat)
 - Tlak $p[\text{kPa}]$ (regulační ventil)
 - Čas $t[\text{s}]$ (časový spínač)
- Rovnoměrný rozložení tlaku a teploty na podlepvacím stroji.
- Elektricky vyhřívané čelisti (tvarovek), ploché čelisti (příp. tvarované čelisti - tvarovky).

- Při poruše sepnou tepelné senzory, a tím se znemožní podlepení při jiné než požadované teplotě
- Automatické čištění podlepovacích transportních pásů nebo horních tvarovek od ulpívajících částí termoplastického pojiva a zbytků textilií.

Podlepovací stroje dělíme:

- diskontinuální
- kontinuální
- ostatní

Přiblížíme si pouze kontinuální pásový podlepovací stroj, který jsme použili v experimentální části diplomové práce.

KONTINUÁLNÍ PODLEPOVACÍ STROJE

Kontinuální neboli průběžné podlepovací stroje jsou výkonnější než deskové podlepovací stroje, a tím zvyšují produktivitu práce. Mají široké použití v konfekční výrobě.

Kontinuální proces podlepování má čtyři pracovní fáze, dle následujícího pořadí:

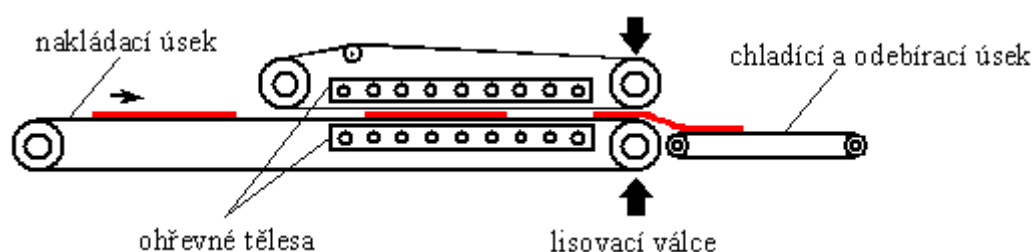
- **1 fáze** – nakládání oděvních součástí (v experimentální části vrchový materiál a membrána) na pracovní nakládací plochu podlepovacího stroje (zóna nakládání).
- **2 fáze** – nahřívání podlepovacích součástí na požadovanou teplotu (zóna teplotního nahřívání).
- **3 fáze** – lisování podlepených součástí požadovaným přitlakem lisovacího zařízení (lisovací zóna).
- **4 fáze** – ochlazení podlepených součástí a následné odebrání (zóna ochlazení a odebrání).

Kontinuální podlepovací stroje dělíme:

- bubnové podlepovací stroje
- pásové podlepovací stroje

Pásové podlepovací stroje

Podleповané součásti jsou transportovány pohybujícím se dopravním zařízením, které se skládá ze dvou transportních pásů pokrytých teflonem nebo silikonem. Pásové podlepovací stroje se skládají, ze dvou nepohyblivých vyhřívacích těles. Jeden transportní pás je vedený podél vyhřívacího tělesa umístěného nad ním a druhý transportní pás je umístěn pod ním. Při průchodu textilií výhřevnou zónou je vyvinuto požadované teplo, že na konci této zóny dosáhne polymerní pojivo viskozity, kdy umožní trvalý spoj při působení následného lisovacího tlaku. Výhřevný systém musí být schopen zahřívát podlepené oděvní součásti po celé délce výhřevné zóny současně z obou stran. Na obr.13 je znázorněn a popsán kontinuální pásový podlepovací stroj.



Obr.13: Pásový podlepovací stroj, zdroj [22].

U kontinuálních strojů je parametr čas reguluje prostřednictvím rychlosti posuvu dopravních pásů. Rychlost transportních pásů musí být vždy stejná. Lisovací tlak je u těchto strojů vyvíjen dvěma válci o stejném průměru, který navazuje na výhřevnou zónu, a procházejí mezi nimi oděvní součásti. Proces lisování probíhá ve velmi krátkém čase. Toto podlepování je vhodné pro materiály citlivé na tlak.

Výhody kontinuálních strojů v porovnání s diskontinuálními stroji: vyšší výkonost, rychlejší pracovní časy, krátké působení maximální teploty na materiál (teplota vzrůstá postupně po délce ohřevu), menší namáhání materiálu. Nevýhody kontinuálních strojů v porovnání s diskontinuálními stroji: možnost srážení materiálu, dlouhá doba před podlepováním (při zahřívání materiálu) a doběh stroje (ochlazení materiálu), nutné zajištění stejnoměrné rychlosti při pohybu transportních pásů, vyšší pořizovací cena a větší spotřeba energie. [22]

2. NANOVLÁKNA

Nanovlákná jsou ultra jemná vlákna, která se elektrostaticky zvlákňují z polymerního roztoku nebo polymerní taveniny. Zvlákňují se různé druhy polymerů, jak přírodní, tak i syntetické polymery. Elektrostatické síly zajišťují, že vlákno se ve svém průměru pohybuje v submikronové oblasti, tedy rozmezí do 1000nm. Vyznačují se výjimečnými vlastnostmi oproti běžným vláknům, a to velkým měrným povrchem a velkou pórovitostí vláknenné vrstvy, ale s malým rozměrem pórů. Tato velice jemná vlákna mají široké použití: filtry, výztuhy do kompozitních materiálů, tkáňové inženýrství, aplikace biologické, separační membrány, nanoelektrické zařízení, ale i pro uplatnění u outdoorového oblečení, kdy je z nanomateriálu vyrobena membrána, na kterou je nanesen zátěr a dále je namaminován mezi podšívkový a vrchový materiál. Často se o nanovlákněch mluví jako o materiálu budoucnosti.

Charakteristické vlastnosti pro nanovlákná, která jsou specifickým způsobem vyráběná a jejich průměr je menší než 500nm ($1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$). Pro představu můžeme porovnat s netkanými mikromateriály vyráběnými technologiemi spun-bond (SB) a melt-blown MB, kdy se pohybují v řádu od 0.9 μm . Vlněné vlákno s obchodním názvem Merino měří v průměru 12 - 24 μm . V porovnání s lidským vlasem, který má v průměru cca 80 μm je nanovláknó 200krát větší. Nanovlákná zaručují jedinečné vlastnosti při zlepšení konečných produktů oproti mikromateriálům. [6,7]

Výroba nanovláken je možná několika způsoby, z nichž je elektrostatické zvlákňování pro výrobu nejlépe využitelný. Tento způsob je níže blíže popsán.

2.1. Historie elektrostatické zvlákňování nanovláken

První zmínka o vlivu elektrostatického pole na kapalinu byl již v 17.století, kdy si mnich William Gilbert při pokusu s ebonitovou tyčí a kapkou vody umístěnou na podložce, která se pohybovala směrem k nabitě tyči.

Jednoduchý spinner vynalezl v roce 1914 John Zeleny, který působil na Minnesotské univerzitě.

Formhals si mezi lety 1934 a 1944 nechal patentovat celou sérii patentů [45,46,47,48,49], které popisovaly experimentální zařízení pro produkci polymerních vláken s využitím elektrostatických sil.

Vonnegut a Neubauer v roce 1952 vynalezli přístroj na principu elektrostatického rozprašování (elektrospraying). Tento stroj byl schopen produkovat proudy vysoce elektrizovaných jednotlivých kapiček o průměru cca 0,1mm. Na jejich technologii v roce 1955 navázal Drozin, který vyšetřoval rozptýl různých kapalin.

Simons si v roce 1966 nechal patentovat zařízení pro výrobu netkaných textilií s elektrostatickým zvlákňováním. Netkané textilie byly velmi tenké až ultra tenké.

Elektrostatické zvlákňování akrylových vláken sestrojil v roce 1971 Baumgarten. Snímaná vlákna měla průměru rozsah 0,05 až 1,1 mikronů.

Začátkem 90. let 20.století se Reneker a Chum zabývají zvlákňováním různých polymerních roztoků. Larrondo a Manley se zasloužili o podobné zvlákňování s rozdílem že se nejednalo o polymerních roztok, ale taveninu.

Dalším patentovaným strojem koncem sedmdesátých let byl tzv. drátový stroj.

Technická univerzita si v roce 2004 nechala patentovat zvlákňovací zařízení s názvem Nanospider, který používá ke své výrobě i firma Elmarco. [6,9,12]

2.2. Princip elektrostatického zvlákňování nanovláken

Elektrostatické zvlákňování je založeno na procesu vysokého napětí k vytvoření elektricky nabitého proudu polymerní taveniny nebo roztoku. Lze zvlákňovat všechny tavitelné polymery. Méně často jsou zvlákňovány polymery ve formě taveniny, jelikož má vyšší viskozitu a nedovoluje tak vytvářet jemná vlákna. Polymerní roztok je zvlákněn pomocí kapiláry. Mezi zvlákňovací tryskou a uzemněným kolektorem vzniká tzv. Taylorův kužel, kdy následuje vytlačování nabitě kapaliny. Vlákna tvoří vlákennou vrstvu na povrchu kolektoru po odpaření rozpouštědla.

2.2.1. Vybrané metody elektrostatického zvlákňování

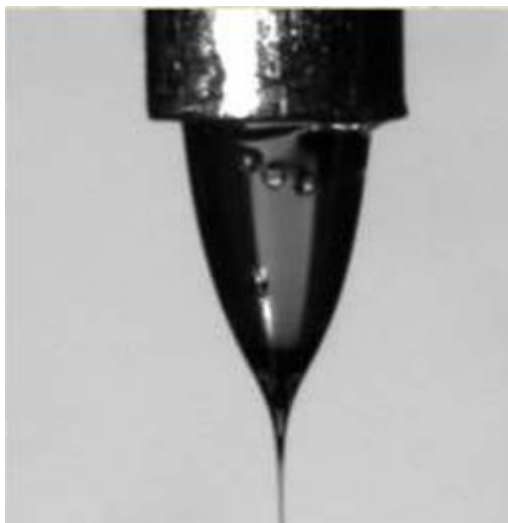
Na elektrostatickém zvlákňování pracuje mnoho vědeckých skupin, které zkoumají různé roztoky i různé zařízení pro co nejlepší výrobu. Některé vědecké týmy dávají přednost svisle umístěné kapiláře (obr.14), kde odkapává z kapiláry kapalina vlivem gravitace. Získaná vlákna se ukládají na kolektor. Jiní vědci preferují nakloněnou kapiláru v horizontálním směru nebo také s definovaným úhlem. V tomto procesu musí být přídatné zařízení v podobě čerpadla, které uvede kapku do procesu. Čerpadlo se může používat i u vertikálního podávání.



Obr.14: Schéma principu elektrostatického zvlákňování – vertikální kapilára, zdroj [6].

Podstata procesu

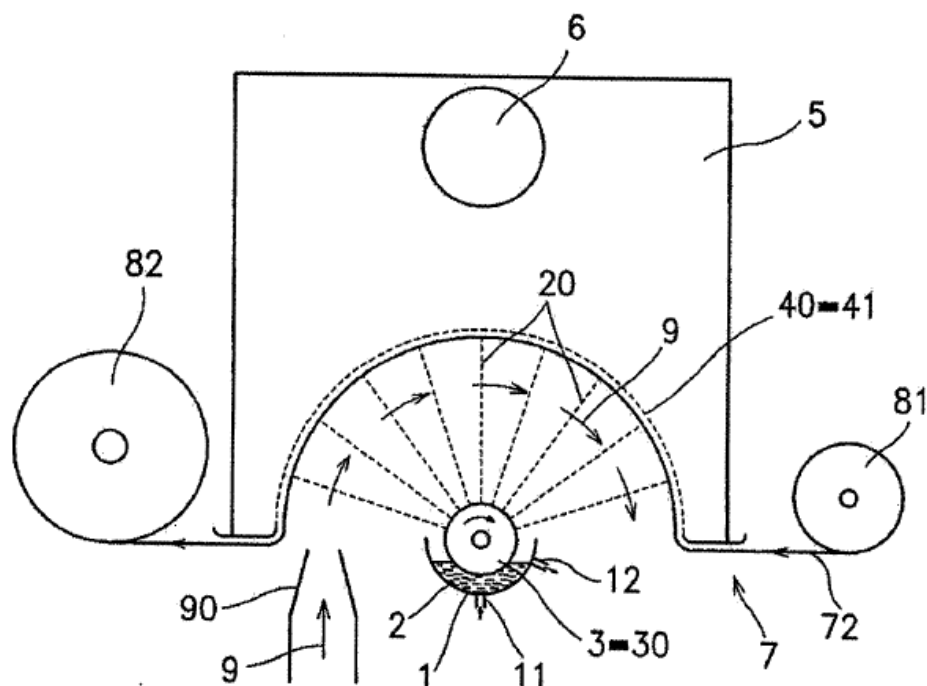
Proces elektrostatického zvlákňování využívá vysoké napětí k vytvoření elektricky nabitého proudu polymerní taveniny nebo roztoku. Elektroda vysokého napětí je rovnou spojena s polymerním roztokem. Roztok je zvlákňován kapilárou a uzavřeným kolektorem, kde vzniká ve špičce kapiláry tzv. Taylorův kužel (obr.15). Následek indukovaného náboje ze špičky kapiláry je vytlačování nabité kapaliny, která tvoří vlákna a po odpaření rozpouštědla vytváří vláknennou vrstvu na povrchu kolektoru. V elektrickém poli se nabitý proud zrychluje a ztenčuje, kde narazí na uzavřenou protielektrodu na niž se následně usadí. Za některých podmínek se kapalinový proud může stát nestabilní před dosažení kolektoru např. kapaliny nízké molekulární hmotnosti. Viskóznější polymerní kapaliny mají stabilnější proud díky viskoelastické síle, které dovolují formaci nabitých vláken malého průměru a po ztuhnutí jsou uloženy na kolektoru ve formě netkané textilie. [6]



Obr.15: Taylorův kužel, zdroj [6].

2.2.2. Metoda nazvaná Nanospider

Na Katedře netkaných textilií Technické univerzity v Liberci byl vyvinut tento způsob přípravy nanovláken. Hlavním principem zůstává Taylorův kužel, kdy je možné na tenké vrstvě polymerního roztoku jich vytvořit několik. Metoda nevyužívá formování vláken pomocí trysek a kapilár a tím je její produktivita vyšší než ostatní metody. Metoda je vzhledem k časté toxicitě rozpouštědel určena ke zpracování vodorozpustných systémů, tím však nevylučuje tvořit nanovlákná z jiných polymerů než rozpustných ve vodě. Pomocí elektrostatického pole jsou formována vlákna z tenkého polymerního roztoku a netkaná textilie je sejmuta z kolektoru. Vlákna se pohybují v průměru cca 100 až 300nm a plošná hmotnost netkané textilie vytvořená z nanovláken je cca 0,1 až 20 g.m⁻². Níže je vidět schéma Nanospideru, který je znázorněn na obr.7. Elektroda ve tvaru válce je z části ponořena do polymerního roztoku, nad elektrodou je umístěn kolektor (protielektroda), pod kterým je vedena podkladová textilie, na které se tvoří nanovláknenná netkaná textilie. Technologie Nanospideru velice mnohostranná a splňuje všechny náročné požadavky, např. přizpůsobitelnost výrobních parametrů, flexibilita nastavení podle požadavků výroby nanovláken. [6,8]



Obr.16: Řez zařízením Nanospider, který vyrábí nanovlákná elektrostatickým zvlákňováním, zdroj[12].

V Experimentální části diplomové práce byla použita nanovláknenná vrstva vyrobená z polyamidu (PA 6) na výrobním zařízení Nanospider. Dále bude popsáno, co polyamid 6 charakterizuje.

2.3. Polyamid 6 (PA 6)

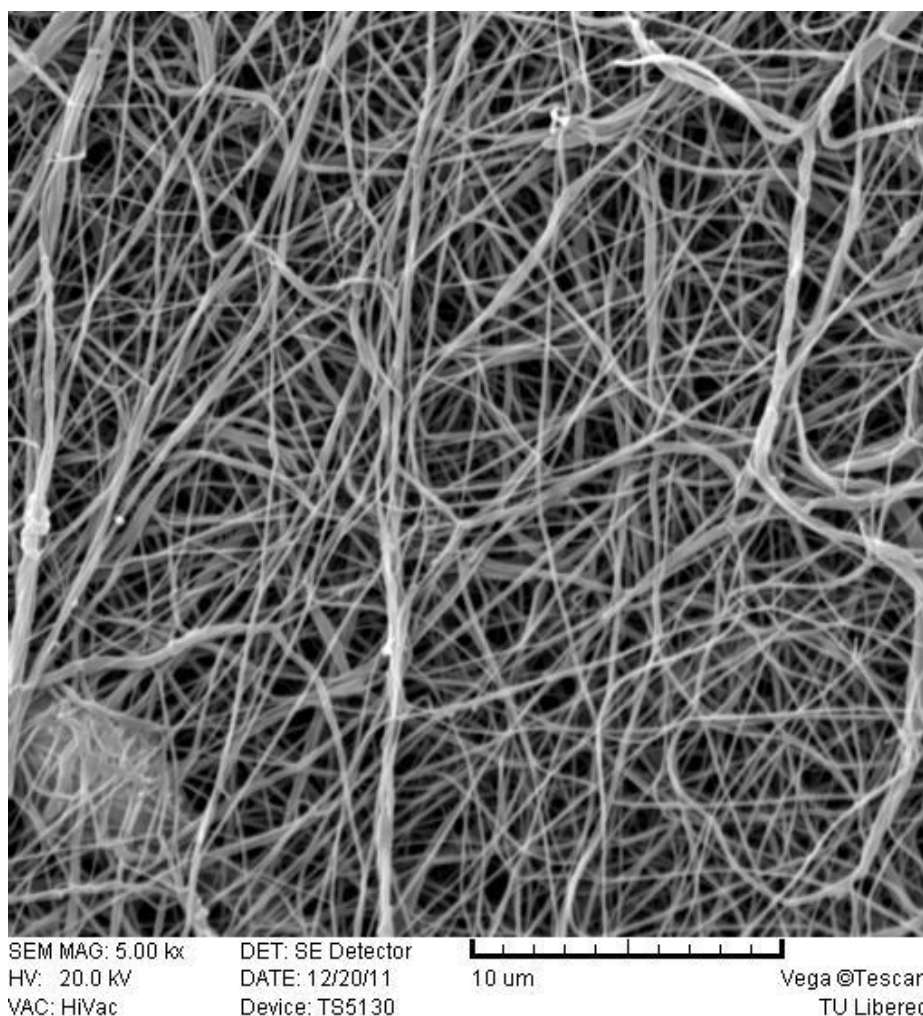
Polyamidy jsou významné lineární polymery charakterizované pomocí hlavních polymerních řetězců, v nichž se pravidelně střídají skupiny $-\text{CO}-\text{NH}-$ s větším počtem skupin methylenových $-\text{CH}_2-$. Polyamid 6 ($\text{[NH(CH}_2)_5\text{CO]}_n$) je v anglosaské literatuře označován jako Nylon 6 a čeští obchodníci ho znají pod názvem Silon. Vzniká z kyseliny 6-aminokapronové nebo 6-kaprolaktanu.

Polyamid 6 je pevná látka, která přechází na viskózní kapalinu při 215 až 220°C a má velmi nízkou viskozitu. Lze ji rozpouštět ve fenolech, v koncentrované kyselině octové (tzv. ledové) a také v kyselině mravenčí.

Pro své dobré mechanické vlastnosti má mnoho použití, ale nejčastěji se zpracovává na textilní vlákna. Polyamid 6 je zvlákněn z taveniny protlačováním tryskami a následným dloužením. Vlákná jsou pevná, odolná proti oděru a také se dobře barví. Za nevýhodu u polyamidu 6 lze považovat vyšší nasákavost oproti polyesterovým vláknům. [9]

Tabulka 1: Fyzikální vlastnosti polyamidu 6, zdroj [23].

Hustota [kg m^{-3}]	1 120
Teplota tání [$^{\circ}\text{C}$]	215 až 220
Modul pružnosti v tahu [MPa]	1 300
Navlhavost [hmot. %]	4
Teplotní odolnost [$^{\circ}\text{C}$] (krátkodobě)	180



Obr. 17: Snímek z elektronového rastrovacího mikroskopu VEGA TS 5130, na které je nanovláknenná vrstva (PA6) vyrobená firmou Elmarco.

2.3.1. Pořízení snímků nanovláknenné vrstvy

K pořízení snímků nanovláknenné vrstvy se používá elektronový rastrovací mikroskop. Nanovláknena mají menší vlnovou délku, než je vlnová délka světla, a proto pod běžným světelným mikroskopem nejsou vidět.

K získání a ukládání obrázků byl vyvinut systém obrazové analýzy, kdy je interaktivní měření a možnosti archivace rozsáhlých sekcí dále zpracováváno. Využívá se hlavně v oblasti textilního inženýrství, kdy jsou zjišťovány geometrické vlastnosti vláken, přízí i plošných textilií. Zobrazovací systém je složen z počítače, kde je nainstalován software obrazové analýzy. Dále se skládá ze zařízení pro získání obrazu z mikroskopu nebo makroskopu (kamera atd.). [27,29]

Obecný postup obrazové analýzy:

Obrazová analýza umožňuje nahrazení subjektivního posuzování snímků pomocí objektivních rysů. Postup obrazové analýzy lze rozdělit do tří etap:

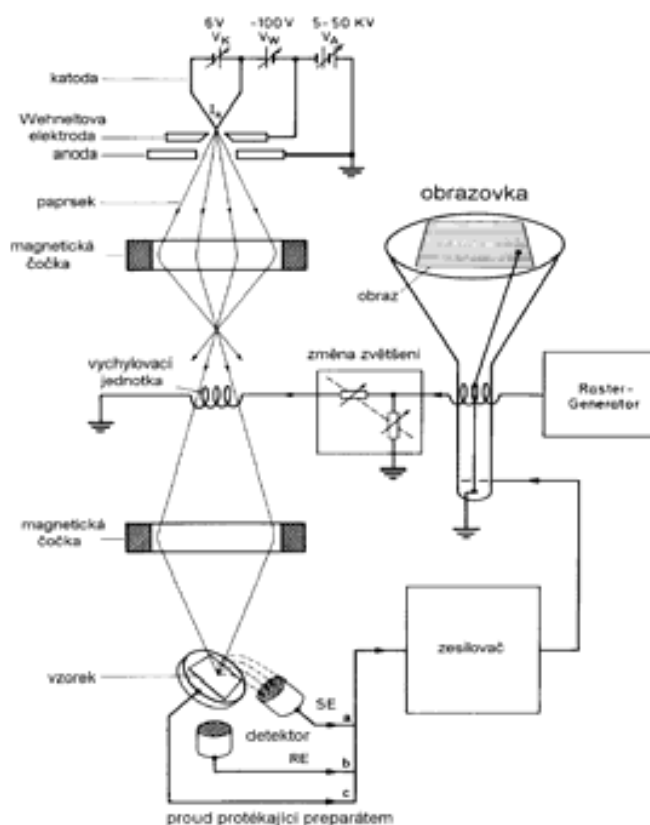
1. tvorba obrazu (náhrada klasické fotografie),
2. počítačem podporovaná analýza obrazu,
3. analýza vybraných charakteristických rysů obrazu. [28]

Rastrovací elektronový mikroskop:

Schéma rastrovacího mikroskopu je znázorněn níže na obr.18. Slouží k zobrazování textilních povrchů při velkém zvětšení až 100000x. Další výhody elektronového mikroskopu jsou velká hloubka ostrosti, „plastické“ zobrazení. Zobrazování probíhá ve vakuu, kdy představuje určitou nevýhodu při pozorování preparátů obsahujících vodu. Zvětšené obrazy lze uložit a dále používat pro další měření a získávání dalších údajů o textilním materiálu (př. Velikost pórů na cm^2 , průměr vláken, atd.). [30]

Princip rastrovacího elektronového mikroskopu:

„Primární paprsek elektronů produkovaných žhavenou katodou (elektroda se záporným napětím) se pohybuje po řádcích po preparátu (rastruje) a vyrazí sekundární elektrony. Ty jsou snímány sondou, převáděny na videosignál a zobrazeny na monitoru“ [30].



Obr.18: Schéma rastrovacího elektronového mikroskopu, zdroj [30].

Snímky nanovláknenné vrstvy byly pořízeny v laboratoři Katedry textilních materiálů na rastrovacím elektronovém mikroskopu Vega TS 5130.

3. POLYMERY

První syntetické polymery byly syntetizovány v první polovině 20 století. V dnešní době mají široké uplatnění v mnoha oborech lidské činnosti. Historie syntetických polymerů začala již před první světovou válkou, kdy Američan Baekeland připravil fenolformaldehydové pryskyřice. Výroba syntetických polymerů před druhou světovou válkou činila přes čtvrt milionu tun ročně. Největší zájem o rozvíjení tohoto odvětví měly země, které byly izolovány od zdrojů klasické suroviny (kaučuk) tj. Německo a SSSR.

Výroba polymerů se rychle rozšířila pro jejich všestranné využití. V dnešní době polymery nahrazují klasické materiály (sklo, kov, dřevo, kůže, vlnu a mnoho dalších), kdy mají naprosto jiné vlastnosti od klasických materiálů a umožňují nám nové aplikace i nová řešení materiálových problémů. Výroba je z relativně levných a dostupných surovin, kdy nahrazuje nedostatkové a drahé materiály. Zpracování polymerů je tvářením z taveniny nebo z roztoku, a tím nám zajišťují levnou a rychlou výrobu. Tyto materiály mají malou hustotu a dobré tepelněizolační vlastnosti. Mají široké použití i při výrobě kompozitních materiálů.

V kapitole polymery se dále budeme věnovat pouze použitým materiálům, které byly v experimentální části použity: polyvinylalkohol a polyuretan. [14]

3.1. Polyvinylalkohol (PVA)

Prekurzor polyvinylacetátu je připraven polymerací monomerních vinylsterů. Polyvinylalkohol získáme reesterifikací nebo zmýdlněním polyvinylacetátu. Polyvinylalkoholové produkty obsahují tak mnoho volných hydroxylových skupin, že je můžeme rozpustit i ve studené vodě. Rozpustnost je ovlivněna polymeračním stupněm, čím je menší polymerační stupeň, tím se lépe polyvinylalkohol rozpouští. V olejích a jiných nepolárních rozpouštědlech není polyvinylalkohol rozpustný ani při zvýšené teplotě.

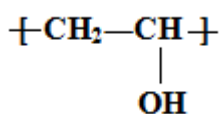
Polyvinylalkohol je bílá práškovitá hmota, která má krystalický charakter. Jeho fyzikální vlastnosti závisí na polymeračním stupni i a stupeň i hydrolýzy.

3.1.1. Použití polyvinylalkoholů

Použití je velice široké a v mnoha oborech. Především se používá jako ochranný koloid zajišťující stabilitu polymerních disperzí. Používá se jako zahušťovadlo do razítkovacích barev, tuší a inkoustů. Dále se používá k impregnaci papíru proti tukům. V textilním průmyslu se polyvinylalkoholu využívá jako speciální ochranný nátěr odolávající benzínu, nepolárním rozpouštědlům a olejům při výrobě ochranných prostředků. Z tohoto materiálu se vyrábí fólie rozpustné ve vodě, které odolávají rozpouštědlům. V podobě různých rozpustných sáčků, šňůr, nití a trubek využívají polyvinylalkohol i rybáři, kdy dostanou návnadu do bezprostřední blízkosti nástrahy. V podobě fólie se vrství do skel, kdy vniká bezpečnostní sklo především do automobilů. V lékařství se rozpustný polymer používá jako oftalmologikum, kdy se viskózní tekutina používá při nedostatečné tvorbě slz. Polyvinylalkohol má velice široké použití. [14,17,18]

3.1.2. Chemie polyvinylalkoholů

Chemická struktura PVA je na vzorci (3/1).



(3/1)

3.2. Polyuterany

Polyuretany patří do kategorie polymerů. Polyuretan je polymer, který je opakován v jednotce uretanová vazby. V oboru plastických hmot nemá odborný výraz „uretan“ jasný význam.

Polyuretany patří do skupiny polymerů, které vznikly reakcí vícefunkčních isokyanátů s polyalkoholy. „Reakcí isokyanátů s alkoholy vznikají uretany (estery kyseliny karbamové).“ [31] Isokyanáty reagují s mnoha sloučeninami, které obsahují aktivní vodíkové atomy. Reagují tak s aminy za vzniku substituovaných močovin. Při reakci s vodou vnikají aminy a uvolňuje se oxid uhličitý. Za určitých podmínek a příměsí může isokyanát reagovat různými způsoby a tím vznikají odlišné produkty nejrůznějších vlastností.

Historie polyuretanů

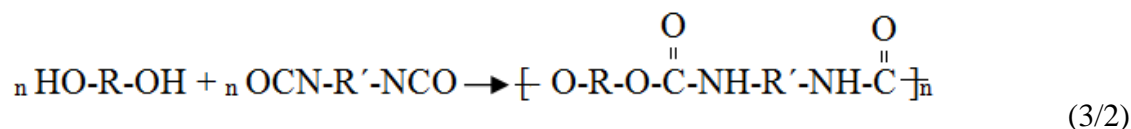
Američané zásluhou W.H. Carotherse dosáhli nečekaného úspěchu v oboru syntetických vláken svým nylonem, ale Němci se snažili jejich náskok vyrovnat. Pokus o nový polymer založili na reakci mezi izokyanátovou skupinou a hydroxilem. Vytvořily tak syntetické vlákno s obchodním názvem Perlon U, které nebylo schopno konkurovat Nylonu. Úspěšný výzkum polyuretanů je dán znaky izokyanátové skupiny, která reaguje s aktivním vodíkem hydroxylových a jiných skupin, tak snadno že spojení monomerů ve velké makromolekuly probíhá rychle i za normální teploty. [13]

3.2.1. Použití polyuretanů

Polyuretany jsou tzv. reaktoplasty a z důvodu špatných recyklačních vlastností jsou nahrazovány termoplasty. Mají široké použití, kdy jsou ve formě měkkých a tvrdých pěn. Tento druh plastu z isokyanátů a diolů je používán na výrobu vláken, lepidel a laků. Pro výrobu hydroizolačních vlastností se využívá polyuretanu s ethylenglykolem, kdy je z něj vyráběn molitan, matrace, houbičky, umělá kůže nebo i syntetické vlákno s obchodním názvem Lycra. Své uplatnění má i v automobilovém průmyslu, kdy se využívá na různé výplně, díly, tepelné izolace čalounění. Používá se na dekorace do interiéru a také v modelářství. [14,16]

3.2.2. Chemie polyuretanů

„Při přípravě makromolekulárních polyuretanů je nutno vycházet z diisokyanátu nebo polyisokyanátů a polyhydroxysloučenin. Tak z diisokyanátu a diolu vzniká polyadiční reakcí za přesunu vodíku lineární polyuretan.“ [31] Na vzorci (3/2) je znázorněna chemická struktura polyuretanu.



4. KOMFORT OUTDOOROVÉHO OBLEČENÍ

Při nošení svrchního oblečení s membránou je důležité, aby se nositel cítil pohodlně. Komfort zákazníka při nošení hraje důležitou roli. Nositel se při provozování jakéhokoli sportu snadno zapotí, a tím musí splňovat outdoorový oděv mnoho vlastností jako je paropropustnost, větruodolnost a hydrostatická odolnost. Pro docílení úplného komfortu musí nositel správně vrstvit oděv, kdyby správně oděv nevrstvil i sebelepší svrchní oděv s membránou by mu nepomohl.

4.1. Komfort při užívání outdoorového oděvu

Komfort je stav organismu, kdy jsou fyziologické funkce organismu v optimu a kdy okolí včetně oděvu nevytváří žádné nepříjemné vjemy vnímané našimi smysly. Subjektivně je tento pocit brán jako pocit pohody. Nepřevládají pocity tepla ani chladu, je možné v tomto stavu setrvat a pracovat. [10]

Komfort vnímáme všemi lidskými smysly kromě chuti, v následujícím pořadí významnosti: hmat, zrak, sluch, čich.

Diskomfort můžeme vnímat jako pocit chladu nebo tepla. Při větší fyzické námaze nebo při působení teplého a vlhkého klimatu vnímáme pocit tepla. Naopak při pocitu chladu vnímáme především reakci na nízkou teplotu nebo na malé pracovní zatížení.

Jednoduše lze komfort definovat jako absenci znepokojujících a bolestivých vjemů.

Komfort dělíme na psychologický, senzorický, termofyziologický a patofyziologický. Dále bude popsán jen termofyziologický komfort.

4.1.1. Termofyziologický komfort

Tento pojem má odborný výraz, který je fyziologický komfort a lze ho chápat jako stav organismu. Celkově ho lidský organismus vnímá jako stav pohodlí, kdy jsou termofyzické funkce v optimální hladině. Termofyziologický komfort lze pak charakterizovat pomocí dvou parametrů, kterými jsou tepelný a výparný odpor. Výparný odpor má důležitou roli při ochlazování těla, a tím je odpařování potu z povrchu pokožky. Výparný odpor neboli paropropustnost se měří na základě reálných přenosových jevů, kdy při nošení oděvu charakterizují tepelné účinky vnímané pokožkou vznikajících v důsledku odparu potu. Dále ho lze dělit na celkový výparný odpor a výparný odpor přiléhavé vrstvy

vzduch- tzv. mezní vrstvy. Záleží tudíž na tzv. vlhkostním gradientu, kdy při zvýšené námaze tělo zvýší odvod tekutin (pot).

Termofyziologický komfort nastává za těchto optimálních podmínek:[10]

- teplota pokožky 33 až 35°C
- relativní vlhkost vzduchu 50±10%
- rychlost proudění vzduchu 25±10cm.s⁻¹
- obsah oxidu uhličitého (CO₂) 0,07%
- nepřítomnost vody na pokožce

Při výrobě membránových materiálů prooutdoorového oblečení je nutné zajistit, aby tyto materiály byly velmi dobře paropropustné, větruodolné a vykazovaly vysoký vodní sloupec.

4.2. Požadované vlastnosti pro outdoroové oblečení

V experimentální části byly požadované vlastnosti (paropropustnost, větruodolnost, vysoký vodní sloupec) testovány.

4.2.1. Paropropustnost -propustnost textilií pro vodní páry

Propustnost textilií pro vodní páry je definována jako schopnost textilií propouštět vlhkost ve formě vodních par (potu) produkované tělem do okolního prostředí. Při jakékoli sportovní aktivitě lidské tělo produkuje vodní páry (pot). Proto by měli být membránové textilie pro svrchní oděv paropropustné. V experimentální části bylo provedeno zkoušení paropropustnosti na přístroji PERMETEST. Přístroj je poměrně malých rozměrů a samotné měření je rychlé. Přístroj měří propustnost vodních par a tepelný odpor. Výparný odpor je charakterizován přenosem vlhkosti a hraje důležitou roli při ochlazování těla, kdy příliš rychlé odpařování potu z povrchu těla zapříčiní ochlazování jedince. Tepelný odpor je charakterizován přenosem tepla.

Paropropustnost p[%], kde 100% propustnost představuje tepelný tok q_0 vyvozený odparem z volné vodní hladiny o stejném průměru jako měřený vzorek. Zakrytím hladiny měřeným vzorkem se tepelné proudění sníží na hodnotu q_v .

Platí:

$$p = 100 (q_v / q_0) [\%] \quad (4/1)$$

Stanovení výparného odporu:

$$R_{et} = (P_m - P_a) (q_v^{-1} / q_0^{-1}) \quad (4/2)$$

Kde: P_mnasycený parciální tlak vodní páry na povrchu měřicí hlavice [Pa]

P_aparciální tlak vodní páry ve vzduchu ve zkušebním prostoru při teplotě vzduchu ve zkušebním prostoru [Pa]. [10]

Tabulka 2: Klasifikace prodyšnosti materiálů dle stávajících ISO norem. [11]

$R_{et} < 6$	– velmi dobrá
$R_{et} 6 - 13$	– dobrá
$R_{et} 13 - 20$	– uspokojivá
$R_{et} > 20$	– neuspokojivá

Nejlepší materiály dosahují prodyšnosti nižší než hodnoty 4 ($R_{et} < 4$).

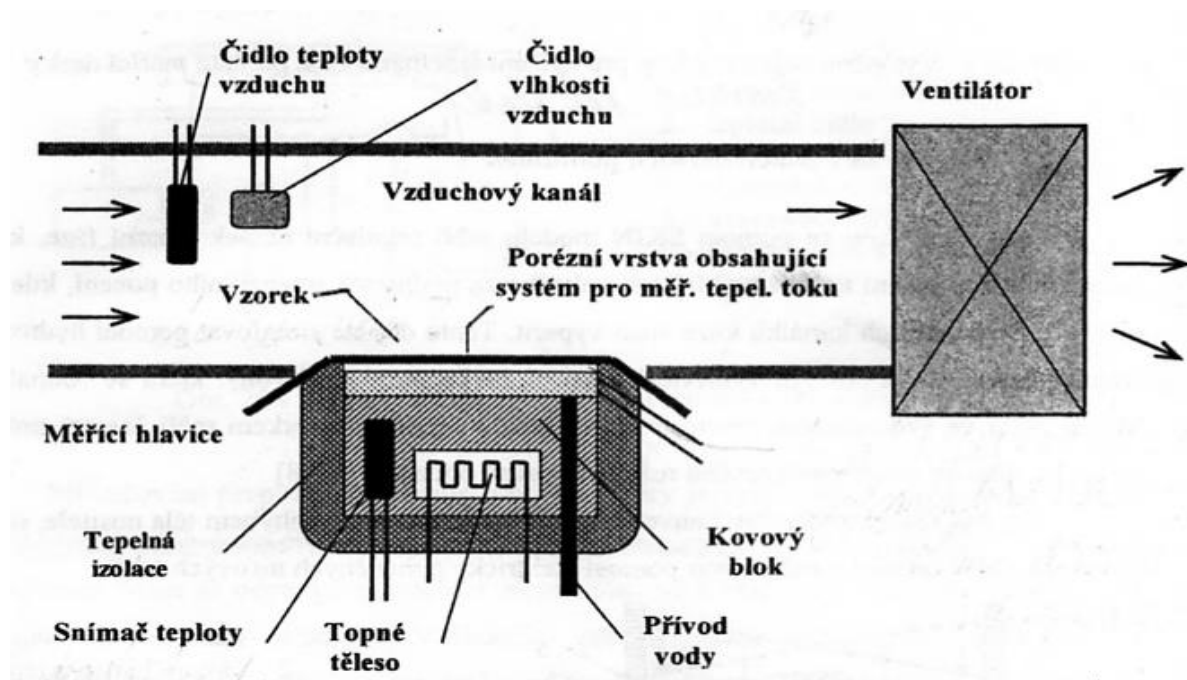
Popis přístroje PERMETEST:

Schéma stroje je vidět níže na obr.19, který představuje zmenšenou verzi skin modelu. Přístroj je založený na přímém měření tepelného toku q , výparném odporu R_{et} a relativní paropropustnosti p . Tepelný tok prochází povrchem modelu, který je porézní a je zvlhčován, čímž se simuluje funkce ochlazování pocením. Vzorkem přes separační fólii prochází pára. Separační fólie je většinou porézní a je upevněna na měřicí hlavici, která je neustále zvlhčována. Tímto je simulována funkce lidského těla a ochlazování pomocí pocení. Vnější vrstva vzorku je skrz vzduchový kanál ofukována. Okolní vzduch je nasáván do přístroje vzduchovým kanálem a přiváděn k měřené textilií upnuté na měřicí hlavici.

Při měření výparného odporu a paropropustnosti je pomocí topné spirály a regulátoru měřicí hlavice udržována na obvyklé teplotě okolního vzduchu 20 až 23°C, který je do přístroje nasáván. Tím se při měření zajistí izotermické podmínky. Dále se pak při měření změní vlhkost v porézní vrstvě na páru, která pak prochází přes separační fólii vzorkem. Příslušný výparný tepelný tok je měřen specifickým snímačem a hodnota je přímo úměrná paropropustnosti materiálu nebo přímo úměrná jejímu výparnému odporu.

Kdy je nejdříve měřený tepelný tok bez vzorku a pak je měřen znovu se vzorkem a přístroj reguluje odpovídající tepelné toky (q_0 a q_v).

Největší výhodou je krátká doba měření a možné provádět měření při běžných klimatických podmínkách. [10]



Obr.19: Schéma přístroje Permetest, zdroj [10].

4.2.2. Prodyšnost – propustnost textilií pro vzduch

Definice prodyšnosti je rychlost proudu vzduchu procházejícího kolmo zkoušenou plochou zkušebního vzorku při stanoveném tlakovém spádu a době. Tlakový spád je hodnota rozdílných tlaků před textilií a za textilií. Tlak za textilií je menší než před textilií. V experimentální části je prodyšnost měřena na přístroji FX 3300 Air Permeability Tester III.

Při vysoké fyzické aktivitě vzniká teplo, které je nutné z části odvést pomocí systému ventilace, pokud je vnější vzduch chladnější a oděv je dostatečně prodyšný. U některých sportovních oděvů je vysoká prodyšnost žádoucí, jako jsou např. dresy. Naopak je prodyšnost zakázána u zimní oblečení nebo u oblečení pro vysokohorskou turistiku, které je vystaveno chladicímu účinku vzduchu.

Popis přístroje TEXTEST AG:

Přístroj je níže na obr.20 a je určen pro měření propustnosti textilií pro vzduch (prodyšnosti). Tento přístroj vyrábí švýcarská firma a jeho princip spočívá ve vytvoření tlakového rozdílu mezi oběma povrchy testovaného materiálu (nejčastěji 100Pa) a měření takto vyvolaného průtoku vzduchu. V experimentální části činila testovaná plocha 20cm^2 , ale dříve testovaná plocha byla 5cm^2 . Propustnost natomto přístroji se vyjadřuje (z řady jednotek: mm/s, cfm, $\text{cm}^3/\text{cm}^2/\text{s}$, $\text{l}/\text{m}^2/\text{s}$, $\text{l}/\text{dm}^2/\text{min}$, $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{min}$, $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ a dm^3/s), kdy v experimentální části jsou použity jednotky $\text{l}/\text{m}^2/\text{s}$. Jak je vidět na obr.18 není třeba vystříhovat vzorek o speciálních rozměrech, ale může se vkládat plošná textilie i oděv.



Obr.20: Přístroj FX 3300 pro měření propustnosti textilií pro vzduch firmy TEXTEST AG, zdroj [24].

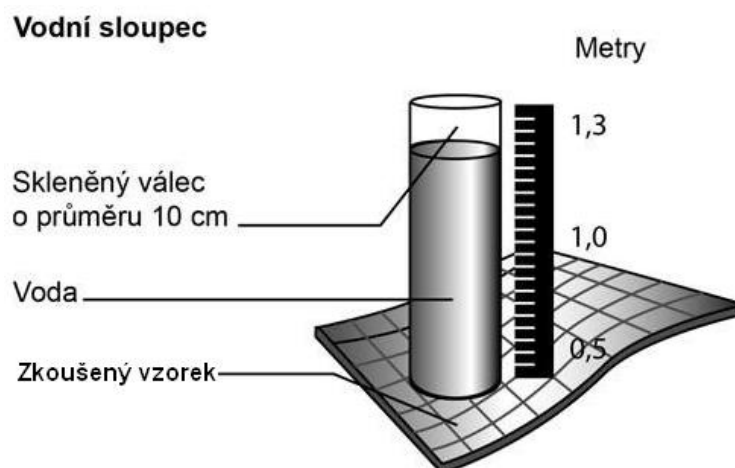
Tabulka 3: Závislost teploty při určité rychlosti větru, zdroj [10].

Rychlost větru		Ekvivalentní teplota [°C]						
m/s	km/h							
0 (bezvětrí)		10	5	0	-5	-10	-15	-20
2,5	9	8	4	-3	-9	-14	-19	-24
5	18	6	2	-6	-13	-18	-23	-27
7,5	27	4	0	-9	-17	-22	-27	-31
10	36	2	-3	-12	-21	-26	-31	-35
13	46	0	-6	-15	-25	-30	-35	-39
15,5	55,8	2	-9	-18	-29	-34	-39	-43
18	64,8	-4	-12	-21	-33	-38	-43	-48
20,5	73,8	-6	-15	-24	37	-42	-48	-51

Z tabulky 4 lze vyčíst, jak na jedince působí síla větru na určité teplotě (vítr přibližně 5m/s při teplotě vzduchu 0°C, cítí teplotu okolí -6°C). Proto svrchní oděv musí odolávat větru a izolovat organismus od chladu. Prodyšnost je tedy pro outdoorové oblečení velmi důležitou vlastností.

4.2.3. Hydrostatická odolnost – výška vodního sloupce

Výška vodního sloupce se vyjadřuje jako schopnost materiálu odolávat tlaku vody a nejčastěji se udává v jednotkách mm. Standartní výška vodního sloupce pro outdoorový materiál začíná na 10000mm. Stupeň hydrostatické odolnosti je možno měřit jednoduše, jak je vidět níže na obr.21. Na materiál je přiložený válec o průměru 10cm, ve kterém je voda a válec je opatřen ryskou. Tlak vody ve válci působí na textilií a po průniku prvních tří kapek anebo prasknutí testované textilie je stanovena hodnota, kterou udává výrobce.



Obr.21: Zjednodušený obrázek měření vodního sloupce, zdroj [25].

V posledních letech je tato hodnota velmi důležitým parametrem kvality výrobků. V experimentální části byla výška vodního sloupce měřena na přístroji Hydrostatic – Head – Tester. [10,25]

Popis přístroje Hydrostatic – Head – Tester M018:

Přístroj pro měření hydrostatické odolnosti vyrábí společnost SDL Atlas a je znázorněn na obr.22. Výrobce udává, že rychle a přesně určuje odolnost textilií vůči pronikání tlakové vody. Textilie je pevně upnuta ve zkušebním zařízení pomocí ručního kola, kdy je ve zkušebním zařízení nádrž s destilovanou vodou a k textilii přiváděna testovací hlavou. Plocha zkoušeného vzorku je dobře osvětlena. Hodnota výšky vodního sloupce je ukázána na displeji v jednotkách $\text{cmH}_2\text{O}/\text{min}$. Testovaná plocha je 100cm^2 a rychlost tlaku je možné nastavit v rozmezí od $1\text{cmH}_2\text{O}/\text{min}$ do $500\text{cmH}_2\text{O}/\text{min}$ s krokem $1\text{cmH}_2\text{O}/\text{min}$ a od $100\text{cmH}_2\text{O}$ do $500\text{cmH}_2\text{O}$ s krokem $50\text{cmH}_2\text{O}$. Průnik prvních tří kapek na povrch nebo prasknutí textilie se provádí zrakem. [26]



Obr.22: Přístroj pro měření vodního sloupce (Hydrostatic – Head – Tester M018), zdroj[26].

Obecně považujeme za nepromokavý oděv s vodním sloupcem od 1,3m, ale v praxi u oblečení se spíše pohybuje hodnota výšky vodního sloupce v rozmezí 10m až 20m. použití v reálných podmínkách je textilie mnohem více namáhána na vyšší tlaky. V tabulce 5 jsou uvedeny zhruba doporučené hodnoty nepromokavosti při některých činnostech.

Tabulka 4: Ekvivalentní výšky vodního sloupce k různým činnostem, zdroj [11].

výška vodního sloupce	spolehlivě ochrání průniku vody při:
5 m	sezení v mokré trávě, na mokré lavičce
12 m	klečení na kolenou v mokré trávě nebo sněhu
15 m	tlaku popruhů těžkého batohu
30 m	pádu suchého lyžaře v plné rychlosti do mokrého sněhu

Pro každou fyzickou aktivitu, bychom měli mít větší rezervu.

[11]

III. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

V experimentální části jsou popsány důležité fáze výroby a testování hydrofilních membrán. Výsledky budou dále vyhodnoceny v grafech a popsány.

Cílem experimentu bylo vytvořit dvouvrstvý laminát s hydrofilní membránou do outdoorového či sportovního oblečení. Hydrofilní membrána obsahuje nanovláknou vrstvu s materiálovým složením 100% polyamid 6. Nanovláknou vrstvu poskytla pro experimentální část firma Viola Nanotechnology s.r.o. ve spolupráci se společností Elmarco s.r.o.. Na nanovlákně je nanesený hydrofilní roztok ve dvou podobách. První roztok byl z polyvinylalkoholu a druhý z polyuretanu, který byl dále modifikovaný pro zlepšení vlastností. Vyrobené membrány byly podrobeny zkouškám: paropropustnost, prodyšnost a hydrostatická odolnost. Tyto zkoušky jsou již popsány v teoretické části.

5. LABORATORNÍ ZKOUŠKY, KTERÉ BYLY PROVEDENY NA HYDROFILNÍ MEMBRÁNĚ

5.1. Zjišťování plošné hmotnosti

„Plošná hmotnost je hmotnost známé plochy plošné textilie, vztažená k této ploše, vyjádřena v gramech na čtvereční metr.“ [35] Pro zjišťování plošné hmotnosti existují dva způsoby. První z variant je pomocí raznice z textilie vyseknut kruhový vzorek o minimální ploše 50000mm². Druhá varianta zjištění plošné hmotnosti je materiál odříznut pomocí obdélníkové šablony o rozměru 50000mm² (např. 250mmx200mm) a žiletky.

V experimentální části jsme však nebyli schopni vyrobit větší vzorek než 200mmx200mm, a proto jsme museli použít zjišťování plošné hmotnosti pomocí malých vzorků podle normy ČSN EN 12127 (800849). Vzorky byly klimatizovány ve volném stavu při laboratorních podmínkách dle normy ČSN EN 20811 v podmínkách $t=20^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$, $\varphi=65\%\pm 2\%$. Z každého druhu materiálu jsme vystřihli pět vzorků o rozměru 100mm x 100mm a pomocí digitální váhy jsme stanovili plošnou hmotnost, kterou jsme přepočítali na jeden metr čtvereční (g/m²).

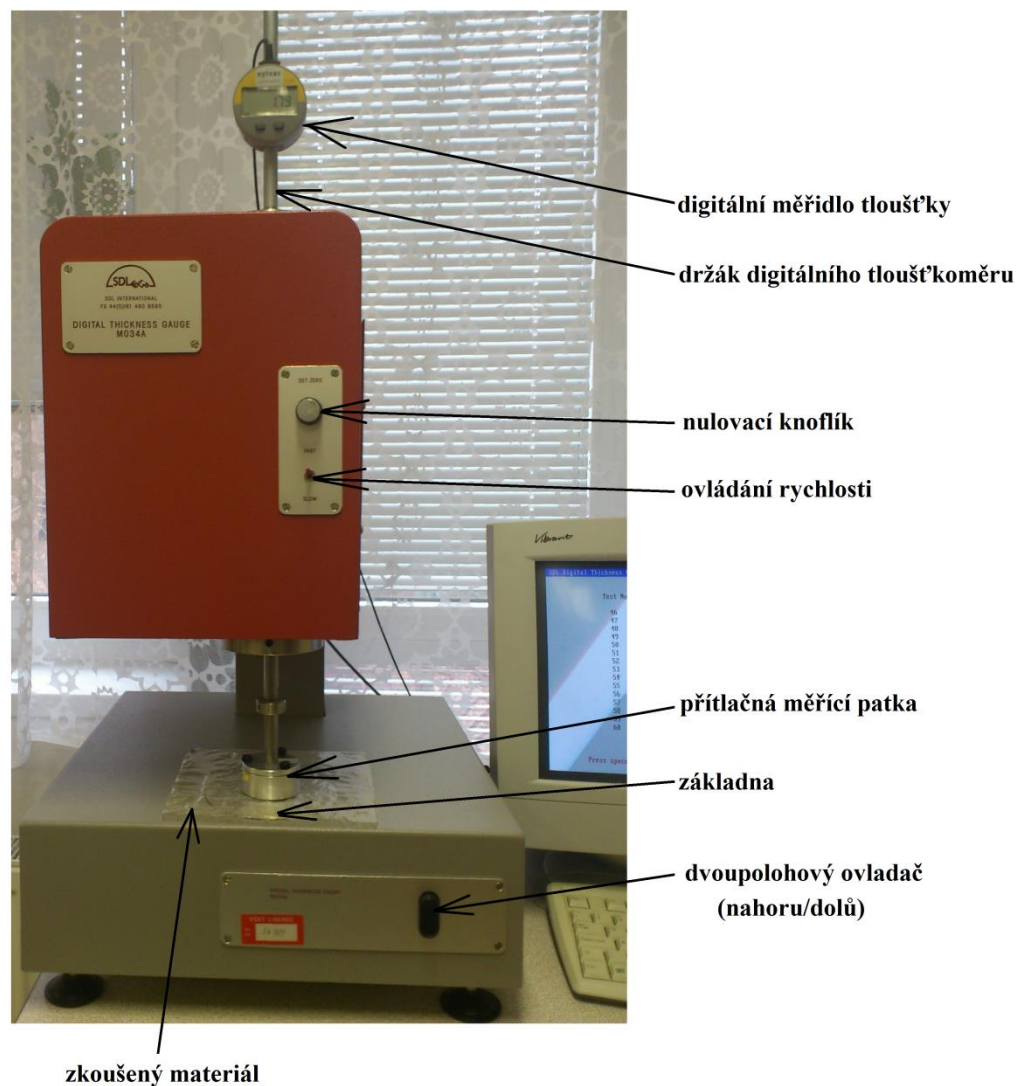
5.2. Zjišťování tloušťky materiálu

Tloušťka materiálu je definována jako měření kolmé vzdálenosti mezi deskou, na které je vzorek položen a paralelním kruhovým přitlačným zařízením, který vyvíjí určitý přitlak na zkoušenou plochu materiálu.

Popis přístroje „SDL M 034 A“:

Přístroj měří rychle a snadno tloušťku materiálu. Na tomto měřicím zařízení byla provedena experimentální měření podle normy ČSN EN ISO 5084 (800844). Přístroj má přitlačnou hlavici o velikosti 20 a 100 cm². Poté je možno nastavit sílu přitlaku 0,2 až 5kPa. Průběh měření je řízen pomocí počítačového softwaru a ovládacích tlačítek na přístroji. Je možné měřit tloušťku materiálu od 0,01mm až 50mm.

Principem měření je nejdříve zvolit jednotky (milimetry, Pascaly), přitlačná plocha (20 nebo 100cm²), velikost přitlaku (Pascaly) na počítači a poté může začít samotné měření. Když je přitlačné zařízení zvednuto vznikne prostor pro vložení vzorku, po vložení vzorku je nutno vynulovat hodnotu hmotnosti vzorku, která působí na základní desku. Po těchto úkonech je možné přistoupit k samotnému měření. Na obrazovce počítače se nám zobrazují výsledky měření, které lze akceptovat nebo odmítnout. K měření tloušťky materiálu není nutné speciální rozměry vzorku, jen musí být vzorek větší než je velikost přitlačné patky a také nesmí být v daném místě materiál poškozen. Níže na obrázku 23 je přístroj s popisem pro měření tloušťky materiálu.



Obr.23: Přístroj pro měření tloušťky materiálu (SDL M 034 A).

Pro měření experimentu byla použita hlavice o velikosti 20cm^2 a přítlak 1000Pa a od každého druhu vyrobené membrány bylo provedeno pět měření, které byly následně vyhodnoceny.

5.3. Zjišťování propustnosti vodních par

Měření bylo provedeno pomocí přístroje PERMETEST, kdy jeho popis a schéma je zaznamenán v teoretické části. Vzorky materiálu se před měřením musí minimálně dvacet čtyři hodin ponechat v klimatizované laboratoři dle normy ČSN EN 20811 v klimatických podmínkách ISO 139 ($t=20^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$, $\varphi=65\%\pm 2\%$). Samotné měření bylo provedeno v klimatických podmínkách ($t=22^{\circ}\text{C}$, $\varphi=46\%$) a vzorky materiálu se nemuseli připravovat na přené rozměry. Princip měření spočívá v tom, že vnější strana vzorku je ofukována proudem vzduchu o rychlosti 1 m/s a měřicí hlavice je vyhřívána na teplotu cca 22°C . Po spuštění přístroje se nejdříve musí kalibrovat pomocí kalibrační textilie (100% polypropylén), kdy známe její hodnotu výparného odporu $5 \text{ m}^2\cdot\text{Pa}/\text{W}$. Není třeba před samotným měřením připravovat materiál na přesné rozměry. Přístroj měří propustnost vodních par p [%] a zároveň se měří výparný odpor **Ret** [$\text{m}^2\cdot\text{Pa}/\text{W}$]. Přístroj je napojen na počítač, který zpracovává naměřené hodnoty. Následně byly hodnoty statisticky vyhodnoceny. Materiál vložený na měřicí hlavici nesmí být zvrásněný a nebo s vadou. Po správném umístění je provedeno měření vždy desetkrát pro každý druh vzorku. Experiment simuluje podmínky běžného nošení outdoorového či sportovního oblečení.

5.4. Zjišťování prodyšnosti materiálu

Zjišťování prodyšnosti bylo pomocí přístroje FX 3300 Air Permeability Tester III, kdy je v laboratorních podmínkách hodnocena podle normy EN ISO 9237. Měření pomocí tohoto přístroje nevyžaduje přesné rozměry vzorku, jen musí být větší než testovaná plocha (20cm^2). Vzorky před samotným měřením musí být alespoň dvacet čtyři hodin v klimatizované místnosti při teplotě $20^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ a vlhkosti vzduchu $65\%\pm 2\%$.

Samotné měření bylo provedeno při klimatických podmínkách teplota vzduchu $22,5^{\circ}\text{C}$ a vlhkost vzduchu 47%. Testovaná plocha materiálu upevněná v měřicí hlavici je 20cm^2 a tlakový spád 100Pa. Proud vzduchu zaznamenáváme v jednotkách $\text{l}/\text{m}^2/\text{s}$. Po upnutí vzorku se spustí stroj a je přes textilií nasáván vzduch. Pomocí umístěných čidel je zaznamenána hodnota tlaků před a za textilií. Po spuštění přístroje musíme několik vteřin počkat až dojde k ustálení podmínek a naměřený průtok vzduchu se objeví na displeji a poté zaznamenáme hodnotu. Samotné měření je velice jednoduché a rychlé. Po zapsání hodnoty uvolníme držák a posuneme materiál na jiné místo, které dále proměříme a pokračujeme stále stejným

principem. Na zařízení lze měřit prodyšnosti všechny druhy textilních materiálů. Hodnota tlakového spádu byla u všech měření stejná, a to doporučená hodnota podle normy (100Pa).

Experimentální měření jsme opakovali vždy pětkrát pro každý druh vyrobené membrány. Výsledky měření byly statisticky zpracovány.

5.5. Zjišťování hydrostatické odolnosti

Měření bylo provedeno na přístroji Shirley Hydrostatic Head Tester M018, který měří odolnost textilií proti pronikání vody pod tlakem. Princip měření je založen na působení tlaku na upnutou textilií pomocí stlačeného vzduchu a vody obsažené v hlavici zásobníku. Na kruhovou hlavici měřicího přístroje je umístěna textilie tak, aby měřená textilie přesahovala přes okraj hlavy přístroje. Testovaná plocha materiálu je 100cm^2 a tlak vody může působit jak z lící strany, tak i rubní strany materiálu. V experimentální části byla testována samotná membrána s mřížkou a laminát byl testován z rubní strany materiálu. Voda je vytlačována pomocí stlačeného vzduchu a tlak vody působí na textilií. Tlak lze regulovat podle rychlosti nárůstu vodního sloupce, měření bylo provedeno při stejném nárůstu vodního sloupce a to $60\text{cmH}_2\text{O}/\text{min}$. V době, kdy na povrch textilie proniknou první tři kapky, nebo po protržení vzorku je měření zastaveno. Na displeji se zaznamenává čas a dosažená výška vodního sloupce. U každého druhu hydrofilní membrány byla provedena tři měření, která bylo statisticky vyhodnoceno. U všech zkoušených membrán i laminátu došlo k úplnému protržení.

Při měření došlo k několika chybám, ale snahou bylo eliminovat co nejvíce mylných pokusů. V některých případech se objevovaly kapičky destilované vody okolo upevňovací hlavy, kdy mohlo dojít k protržení membrány nesprávnou manipulací s upínacím zařízením. Dále se mohla vyskytnout vada na membráně, kdy roztok byl nanesen pomocí klocovacího válečku, a tím se nedalo zabránit nestejněměrnosti nánosu polymeru na nanovlákenou vrstvu. Nesprávné měření mohlo zapříčinit i špatné plnění přístroje vodou v průběhu samotného měření, kdy začal unikat vzduch a tím pádem klesl tlak. Měření bylo vždy ukončeno a do konečného vyhodnocení byla data vyřazena. Přístroj byl v průběhu měření odborně opraven. Naštěstí se s těmito ztrátami počítalo a bylo vyrobeno více membrán od každého polymerního druhu roztoku.

Podmínky při měření: $t=23^\circ\text{C}$

$\varphi=42\%$

5.6. Zjišťování pevnosti materiálu

Pevnostní zkouška pro měření samotné membrány byla naměřena na trhačím přístroji LabTest 2.05 a dvouvrstvý laminát byl naměřen na modelu M350-5CT. Všechny zkoušky byly provedeny podle normy ČSN EN ISO 13934-1 (800812) s malou úpravou velikosti vzorku. V experimentální části jsme nebyli schopni vyrobit větší vzorky než 20x20cm, a proto jsme museli upravit velikost vzorku z upínací délky 20cm na 10cm a šíři vzorku jsme z 5cm upravili na 3cm.

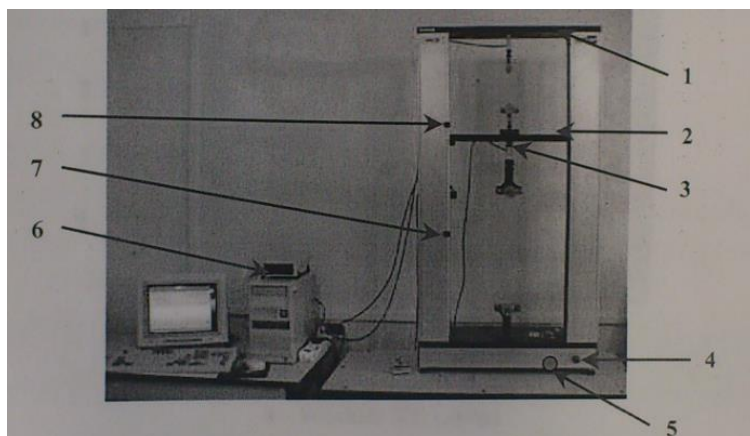
Popis přístroje LabTest 2.05:

Stroj je určen pro měření pevnosti a tažnosti (plošných textilií, šicích nití, pevnost švů). Tento přístroj je také určen pro mnoho jiných zkoušek (tlakové, ohybové).

Popis stroje: je tvořen rámem, ve kterém je umístěn horní pevný příčník, stůl a pohyblivý příčník. V rámu stroje je elektronická řídicí jednotka a vyhodnocovací část. Rám stroje rozděluje pohyblivý příčník na dva pracovní prostory horní a spodní. Oba pracovní prostory mohou mít v rámu stroje umístěny dva silové snímače, jeden je umístěn v horním příčníku a druhý je umístěn na posuvném příčníku. Pro experimentální měření pevnosti samotné hydrofilní membrány byla použita horní část stroje, jelikož pevnost membrány se jevila velice nízká. Siloměrné snímače se liší v zatížení tah/tlak je na horním do 100N a na dolním je do 5000N. V přední části dole je umístěné bezpečnostní tlačítko STOP a kontrolka napájení, jak je vidět na obr.24. Na dolním panelu v zadní části je ještě umístěn hlavní vypínač, pojistný držák a konektor síťového napájení.

Ovládání stroje je pomocí počítačového programu LabTest, kde je důležité nastavit definici zkoušky. Souborem definice určíme, jakým způsobem bude zkouška probíhat. Pro experimentální měření byla stanovena definice v tahu, kdy byly nastaveny výstupní hodnoty tažnost při maximální síle, síla při roztržení vzorku a maximální dosažená síla. Dále byla nastavena šíře pro předpětí 0,20N a rychlost předpětí 50mm/min. Průběh a ukončení zkoušky se stanovila rychlostí příčníku na 10mm/min. Upínací délka vzorku byla 10cm a šířka vzorku byla 3cm, jelikož větší vzorky než 20x20cm jsme nebyli schopni v laboratoři chemie vyrobit. Po nastavení definice jsme mohli zahájit samotné měření pevnosti, kdy jsme klikli na ikonu „start zkoušky“ v programu LabTest. Na monitoru počítače se zobrazuje aktuální graf měřeného vzorku, dále jsou na monitoru ikony pro

ovládání stroje. V dolní části se zobrazují aktuální hodnoty síly F [N], délka prodloužení l v [mm] a čas t v sekundách.



- | | |
|-------------------------------|-----------------------|
| 1. Horní příčník | 5. Kontrolka napájení |
| 2. Pohyblivý příčník | 6. Modul řízení |
| 3. Siloměrný snímač | 7. Spodní zarážka |
| 4. Bezpečnostní STOP tlačítko | 8. Horní zarážka |

Obr.24: Popis trhacího přístroje LabTest 2.05, zdroj [38].

Popis experimentálního měření:

Před měřením jsou vzorky klimatizovány minimálně dvacet čtyři hodin při relativní vlhkosti $65 \pm 2\%$ a teplota $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Měření bylo provedeno v horní části trhačky, kde měřicí čidlo je do 100N. Do mechanických čelistí přístroje LabTest 2.05 (obr.25) je upnut vzorek s upínací délkou 10cm a šířkou 3cm. Po upnutí je zapnut trhací stroj pomocí programu LabTest. Na monitoru počítače se zobrazuje graf měřeného vzorku a hodnoty maximální síla a prodloužení, které jsou dále zpracovány statisticky. Měření každého druhu materiálu bylo provedeno pětkrát.



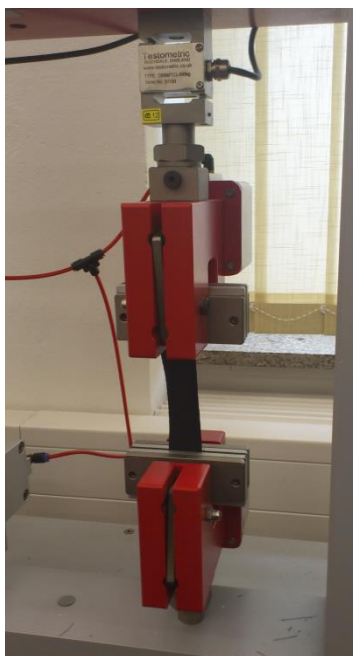
Obr.25:Upnutí vzorku hydrofilní membrány do horní části trhacího přístroje LabTest2.05.

Model přístroje M350-5CT:

Tento přístroj (obr.26) je stolní dvousloupový univerzální trhací stroj zcela řízen přes počítač pomocí softwaru WinTestAnalysis. Přístroj je díky automatizovanému řízení dosaženo jednoduché ovládání a velice přesné vyhodnocení výsledků.

Trhací přístroj byl zvolen pro své pneumatické čelisti, jelikož dvouvrstvý laminát z mechanicky utahovaných čelistí vykluzoval a měření bylo nepřesné.

Jsou zde nastaveny stejné parametry jako u předchozího přístroje. [38]



Obr.26:Upnutí vzorku dvouvrstvého laminátu do trhacího přístroje M350-5CT.

6. STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT

U některých naměřených hodnot v experimentální části bylo zapotřebí statistického vyhodnocení. Toto zpracování bylo provedeno pomocí programu QCExpert 3.2 Trial a Microsoft Office – Microsoft Office Excel 2007. Nejprve byla zpracována základní statistika pomocí níže zobrazených vzorců:

Aritmetický průměr \bar{x} :

Aritmetický průměr (rovnice 1) je statistická hodnota, která je vyjádřena jako součet naměřených hodnot dělená počtem všech jednotek souboru dat.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (6/1)$$

Rozptyl s^2 :

Rozptyl (rovnice 2) je střední kvadratická odchylka náhodné veličiny od její střední hodnoty.

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (6/2)$$

Směrodatná odchylka s :

Směrodatná odchylka (rovnice 3) je druhou odmocninou z rozptylu. Jedná se o kvadratický průměr odchylek hodnot znaku od jejich aritmetického průměru. Vypovídá, jak daleko jsou hodnoty ve zkoumaném souboru vzdálena od průměru, resp. hodnoty náhodné veličiny vzdálené od střední hodnoty. Čím je tato hodnota menší, tím přesnější měření.

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{s^2} \quad (6/3)$$

Variační koeficient v :

Variační koeficient (rovnice 4) je dán podílem směrodatné odchylky a průměrné hodnoty. Tato hodnota se vypočítává, jestliže nenabývá nezáporné hodnoty.

$$v = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 10^2 \quad (6/4)$$

95% interval spolehlivosti $L_{d,h}$:

95% interval spolehlivosti (rovnice 5) udává rozmezí, ve kterém s 95%ní jistotou bude požadovaný parametr nalezen.

$$L_{d,h} = \bar{x} \mp t^{(n-1)} * \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (6/5)$$

7. POPIS PŘÍPRAVY VZORKŮ A NANESENÍ POLYMERNÍ VRSTVY

7.1. Popis nanovláknenné vrstvy:

Výrobce: Elmarco –nanoforlefe

Materiálové složení: 100% polyamid 6 (PA6)

Druh vazby: netkaná textilie

Průměr vláken v membráně: 157nm

Plošná hmotnost: 4,7g/m²

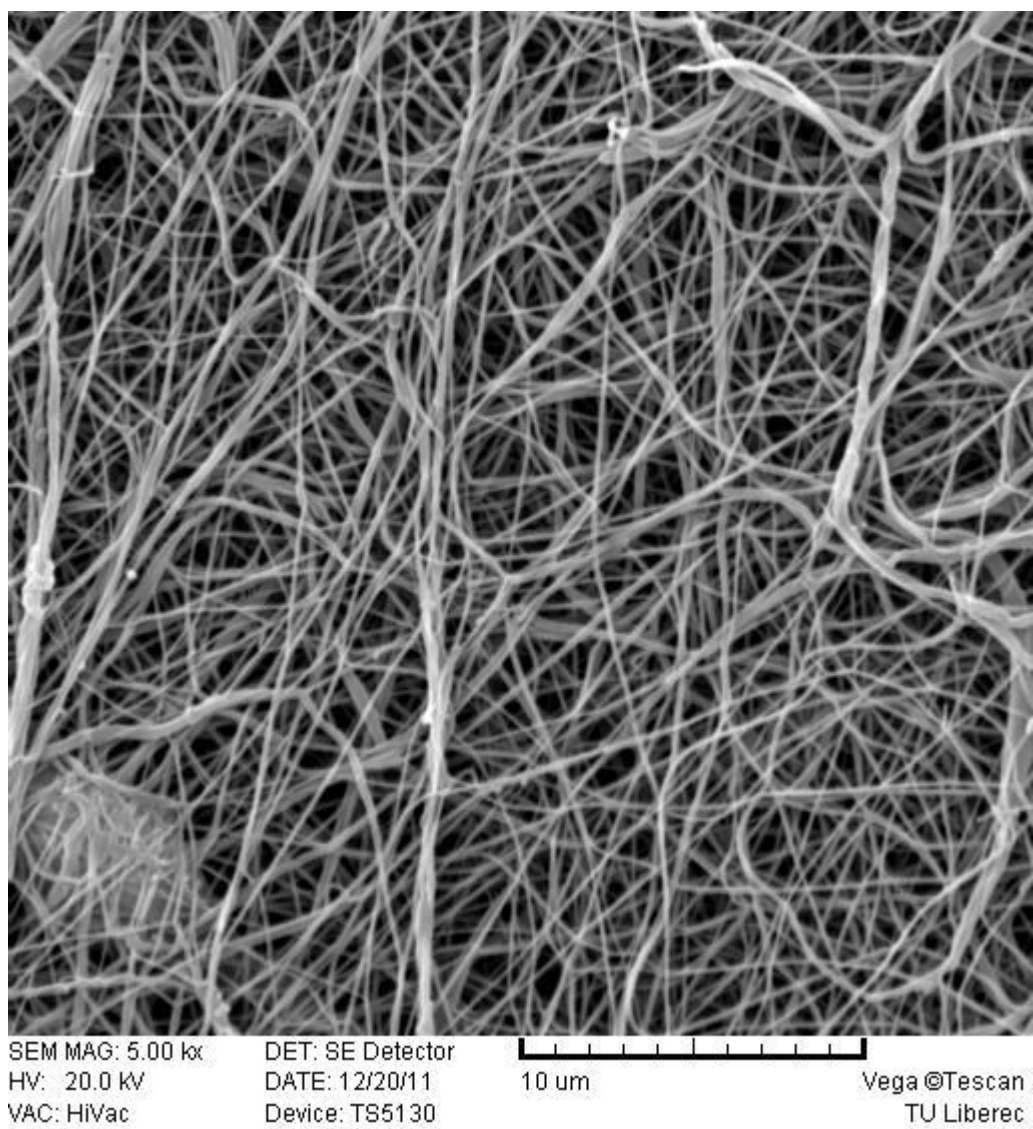
Tloušťka materiálu: 0,01mm

Hydrostatická odolnost: 146 mmH₂O

Paropropustnost: $R_{et}=0,00\text{Pa}\cdot\text{m}^2/\text{W}$

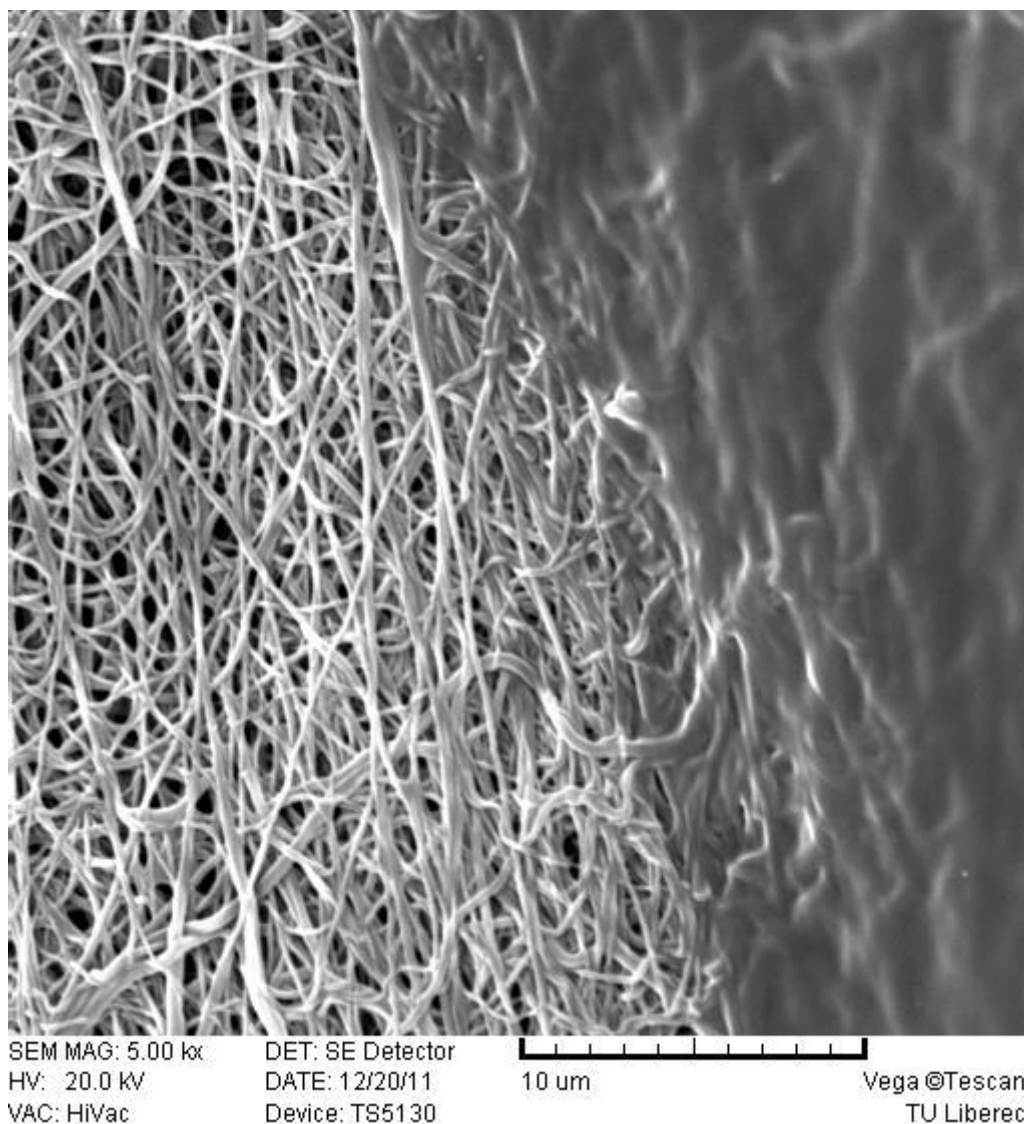
Prodyšnost: 1,33 l/m²/s

Nanovláknennou membránu dodala firma Elmarco, na kterou byly nanášeny dva polymerní roztoky (polyvinylalkohol PVA a polyuretanu PUR). Dále byly podrobeny testům. Prvním posouzení bylo provedeno subjektivně hmatem a pohledem.



Obr.27.: Nanovláknenná membrána při zvětšení 5000x.

7.2. Membrána s roztokem z polyvinylalkoholu (PVA):



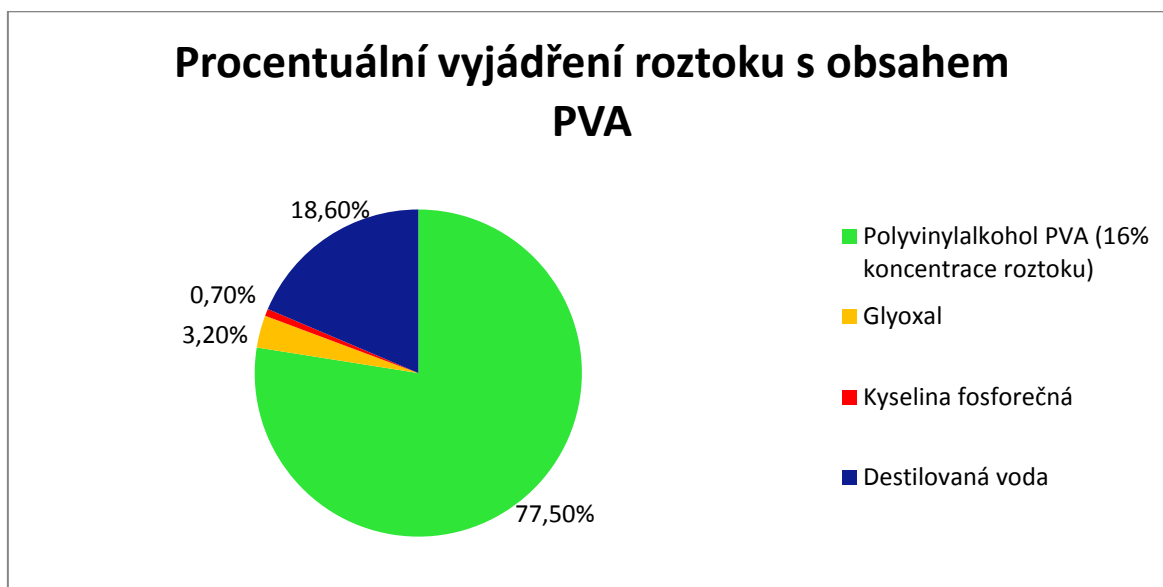
Obr.28.: Nanovláknenná membrána, na které je z pravé části nanesen roztok s obsahem polyvinylalkoholu při zvětšení 5000x.

Složení roztoku:

250g	Polyvinylalkohol PVA (16% koncentrace roztoku)
10,16g	glyoxal
2,28g	kyseliny fosforečné (H_3PO_4)
60g	destilovaná voda

PROCENTUÁLNÍ VYJÁDŘENÍ ROZTOKU:

77,5%	Polyvinylalkohol PVA (16% koncentrace roztoku)
3,2%	glyoxal
0,7%	kyseliny fosforečné (H_3PO_4)
18,6%	destilovaná voda



Graf 1.: Procentuální vyjádření roztoku s obsahem PVA.

Polyvinylalkohol: je blíže popsán v teoretické části. Použitý 16% roztok polyvinylalkoholu je popsán níže v tabulce 5.

Tabulka 5: Chemický popis polyvinylalkoholu, zdroj [14,19].

Identifikace	Název	Polyvinylalkohol
	Vzorec	$(-\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_n$
	Roztok	16±0,5 %
Základních fyzikální a chemické vlastnosti	skupenství	vodný roztok
	Barva	bezbarvý
	Zápach	slabý
	Hořlavost	nehořlavý
	výbušnost	nevýbušný
	oxidační vlastnosti	nemá oxidační vlastnosti
	rozpuštnost ve vodě	zcela rozpustný
Toxicita	Nejsou nebezpečné životnímu prostředí.	
Persistence a rozložitelnost	Je biologicky odbouratelný až z 90-95%.	

Glyoxal ($C_2H_2O_2$): je nejjednodušší dialdehyd. Je bezbarvá, nestálá a viskózní látka. [32]

Kyselina fosforečná (H_3PO_4): v její struktuře jsou tři hydroxylové skupiny schopné odštěpit proton. Je zařazena mezi středně silné kyseliny. Tato kyselina se připravuje reakcí oxidu fosforečného s vodou. [33]

Destilovaná voda: se vyznačuje tím, že jsou ze vstupní vody odstraněny minerální látky (až o 96%) a organické látky (až o 98%). Tato voda je čirá, bezbarvá kapalina bez chuti a zápachu. [34]

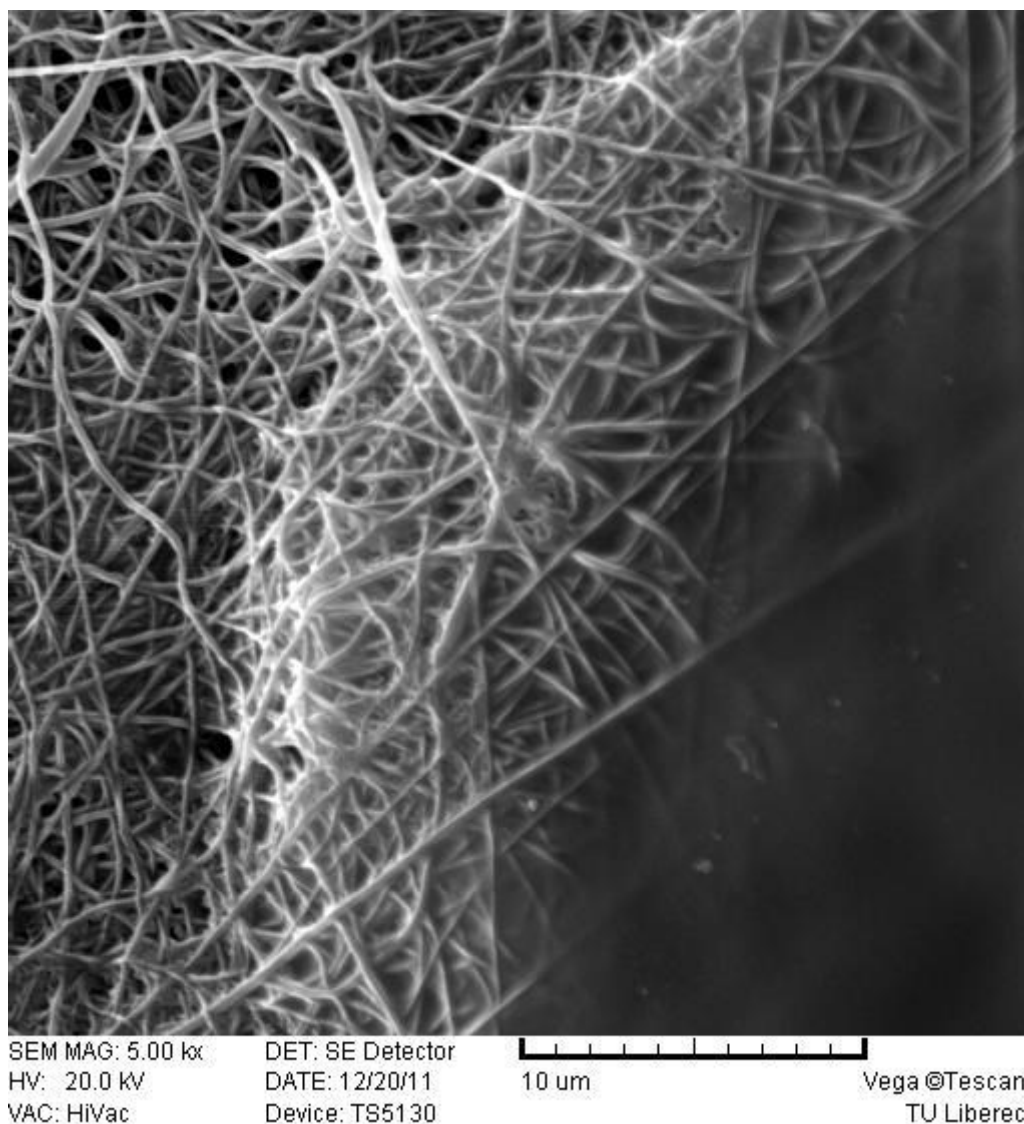
Nanesení roztoku PVA na nanovláknennou vrstvu:

Nanesení roztoku na nanovláknennou membránu bylo pomocí klocovacího válečku, tím pádem se nedalo zabránit nestejnoměrnosti nánosu roztoku na vzorek netkané membrány.

Zasušení probíhalo v silikonové formě při 60°C. Pro fixaci byla stanovena teplota 135°C po dobu 4minut. Silikonová forma byla zvolena po předešlém výzkumu, kdy se membrána po nanesení roztoku stala velice přilnavá. Výsledkem nejlepšího řešení při sušení a následném sejmutí vzorku z podložky bylo požití silikonové formy, kdy se materiál vůbec nepoškodil, jak při samotném sušení, tak i po sejmutí ze silikonové formy.

Základní rozdělení vyrobených vzorků bylo stanoveno podle různé gramáže naneseného roztoku na nanovláknennou membránu, která byla přepočtena na plošnou hmotnost vzorku.

7.3. Membrána zalitá roztokem z polyuretanu (PUR):



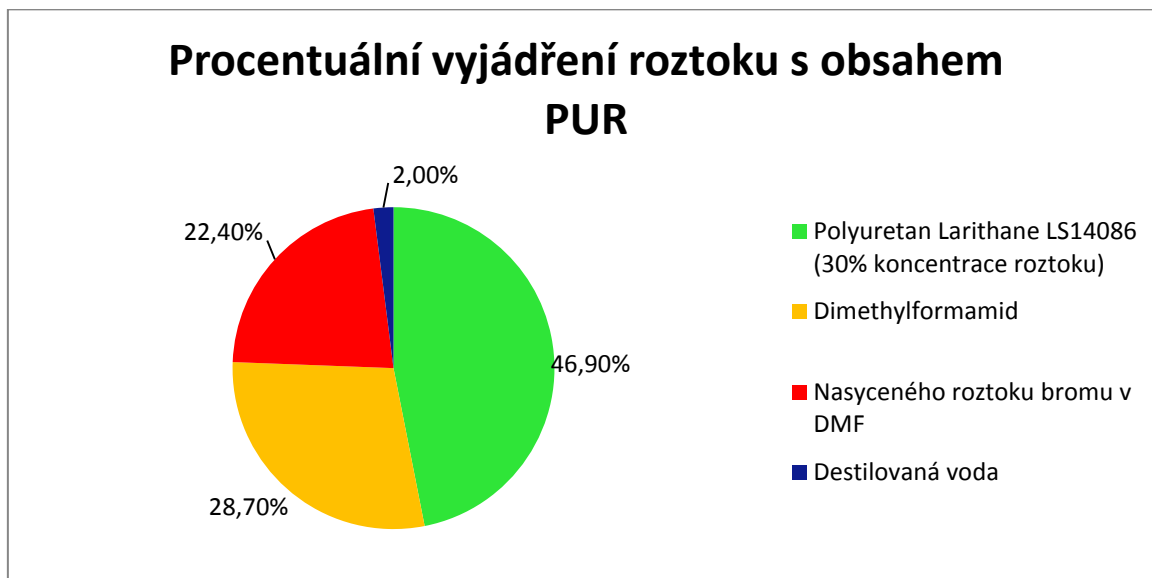
Obr.29.: Nanovláknenná membrána, na které je z pravé části nanesen roztok s obsahem polyuretanu při zvětšení 5000x.

Složení roztoku:

115g	Polyuretan Larithane LS14086 (30% koncentrace roztoku)
70g	Dimethylformamidu (DMF)
55g	Nasyceného roztoku bromu v DMF
5g	Destilované vody

PROCENTUÁLNÍ VYJÁDŘENÍ ZÁKLADNÍHO ROZTOKU S OBSAHEM PUR:

46,9%	Polyuretan Larithane LS14086 (30% koncentrace roztoku)
28,7%	Dimethylformamidu (DMF)
22,4%	Nasyceného roztoku bromu v DMF
2%	Destilované vody



Graf 2.: Procentuální vyjádření roztoku s obsahem PUR.

Polyuretan Larithane LS14086:

Italská firma Novatex vyrábí produkt Larithane, kdy jde o polyuretan s vysokou polaritou. Tento polyuretan je rozpustný v dimethylformamidu, etanolu, esteru a ještě také v ketonech. [16]

Dimethylformamidu (DMF):

Dimethylformamid ($\text{HCON}(\text{CH}_3)_2$) je bezbarvá kapalina, která se může mísit s vodou a s většinou organických rozpouštědel (např. lihem). Vyrábí se například reakcí oxidu uhelnatého, amoniaku a methanolu za vysokých tlaků a teplot. Je důležitým aprotickým rozpouštědlem mnohostranného použití, zvláště pro umělé hmoty. Dimethylformamid je čirá, bezbarvá až slabě nažloutlá kapalina s jemným čpavkovým zápachem. [36]

Brom:

Brom (chemická značka Br) je červenohnědá kapalina, nepříjemného zápachu. Tento prvek snadno reaguje s celou řadou prvků. Brom je díky svým chemickým vlastnostem velice podobný chloru. [37]

První modifikace: přidáním glycerolu do základního roztoku.

Glycerol:

Glycerol je hygroskopická viskózní kapalina, která je bez zápachu, bezbarvá, sladké chuti. Je částí molekuly tuků. Tato látka se dá použít jako sladidlo, rozpouštědlo apod.

Druhá modifikace: přidáním slovasolu do základního roztoku.

Slovasol:

Slovasol je primární mastný alkohol oxyetylovaný. Obsahuje více jak 99% aktivních složek. Tato toxická látka velmi zatěžuje životní prostředí. [38]

PROCENTUÁLNÍ VYJÁDŘENÍ ROZTOKU, KTERÝ JE MODIFIKOVÁN O SLOVASOL:

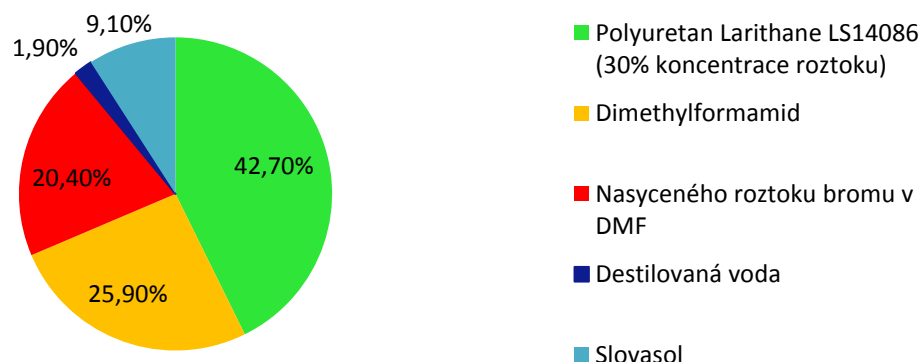
Pro přidání chemické látky slovasol jsme zvolili tři různé gramáže, které jsme přidali do základního roztoku, a tím jsme základní roztok modifikovali.

1. Modifikace

Procentuální vyjádření první modifikace o slovasol v nejmenším množství.

42,7%	Polyuretan Larithane LS14086 (30% koncentrace roztoku)
25,9%	Dimethylformamidu (DMF)
20,4%	Nasyceného roztoku bromu v DMF
1,9%	Destilované vody
9,1%	Slovasol

Procentuální vyjádření první modifikace základního roztoku PUR



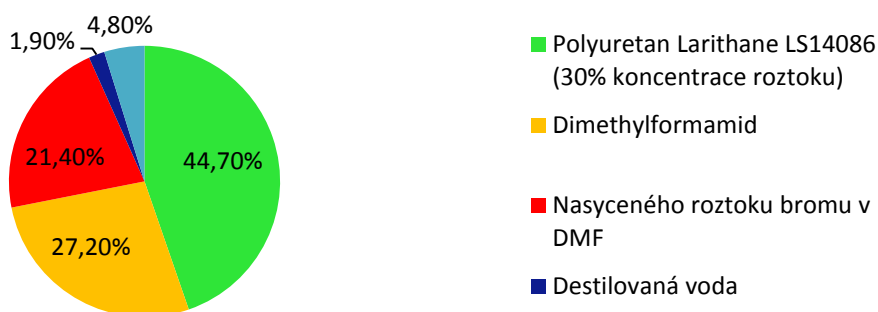
Graf 3: Procentuální vyjádření roztoku při první modifikaci.

2. Modifikace

Procentuální vyjádření druhé modifikace o slovasol ve středním množství.

44,7%	Polyuretan Larithane LS14086 (30% koncentrace roztoku)
27,2%	Dimethylformamidu (DMF)
21,4%	Nasyceného roztoku bromu v DMF
1,9%	Destilované vody
4,8%	Slovasol

Procentuální vyjádření druhé modifikace základního roztoku PUR

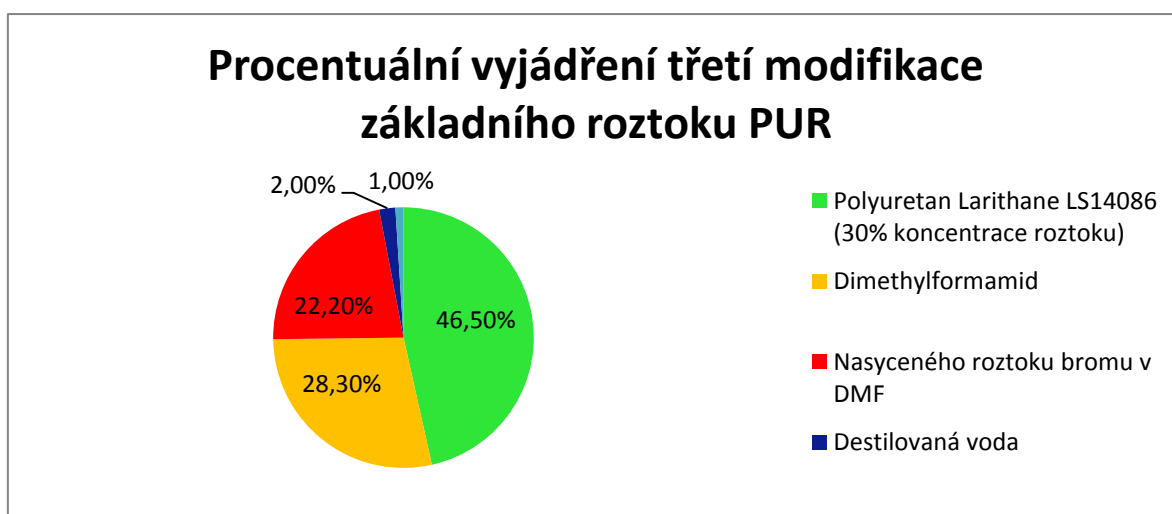


Graf 4: Procentuální vyjádření roztoku při druhé modifikaci.

3. Modifikace

Procentuální vyjádření třetí modifikace o slovasol v nejmenším množství této látky do základního roztoku.

46,5%	Polyuretan Larithane LS14086 (30% koncentrace roztoku)
28,3%	Dimethylformamidu (DMF)
22,2%	Nasyceného roztoku bromu v DMF
2%	Destilované vody
1%	Slovasol



Graf 5: Procentuální vyjádření roztoku při třetí modifikaci.

Nanesení roztoku PUR na nanovláknennou vrstvu:

Nanesení roztoku na nanovláknennou membránu bylo pomocí klocovacího válečku, tím pádem se nedalo zabránit nestejněměrnosti nánosu roztoku na vzorek netkané membrány.

Zasušení probíhalo v silikonové formě při 80°C, kdy tato teplota stačila zároveň i pro fixaci. Pro přilnavost membrány po nanesení roztoku byla jako u předešlého nánosu použita silikonová forma, která byla zvolena pro její nepřilnavý povrch. Vzorky po zasušení, fixaci a následném sejmutí z formy nebyly porušeny pro další stanovení vlastností membrány.

Základní rozdělení vyrobených vzorků bylo, jak u předešlého roztoku pro porovnání stanoveno, podle různé gramáže naneseného roztoku na nanovláknennou vrstvu, která byla přepočtena na plošnou hmotnost vzorku.

7.4. Vrchová textilie

Vrchová textilie byla použita pro vytvoření dvouvrstvého laminátu. Na této tkanině jsou z rubní strany jsou umístěny pojivové body, kdy mesh je 20,5.

Materiálové složení: 100% Nylon

Druh vazby: Plátňová vazba -RIPSTOPER

Plošná hmotnost: 85,6g/m²

Tloušťka materiálu: 0,164mm

Prodyšnost: 94,4l/m²/s

Paropropustnost: 0,8Pa.m²/W

Hydrostatická odolnost: 158 mmH₂O

7.5. Dvouvrstvý laminát

Dvouvrstvý laminát byl vytvořen pomocí kontinuálního podlepovacího stroje MEYER RPS- MINI (obr.30). Obsluha stroje je velice jednoduchá. Pomocí digitálního displeje se nastaví teplota a rychlost posuvu materiálu. Mechanicky je nastaven přítlak při podlepování. Když máme nastaveny tyto tři parametry vyčkáme na vyhřátí výhřevných těles na požadovanou teplotu. Po vyhřátí na požadovanou teplotu můžeme začít vytvářet dvouvrstvý laminát. Do stroje vkládáme navrstvený materiál, tak že na vrchové textilií je umístěna hydrofilní membrána a dále na membráně je vložena netkaná textilie, která zabrání její poškození při působení podlepovacích podmínek.



Obr.30.: Kontinuální podlepovací stroj MEYER RPS- MINI.

Nastavené fyzikální parametry:

- $T = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $p = 0,015\text{ kPa}$
- $v = 1\text{ m/min}$

Při působení výše uvedených parametrů byl kontinuálním podlepovacím stroji MEYER RPS- MINI vytvořen dvouvrstvý laminát s hydrofilní membránou.

7.5.1. Dvouvrstvý laminát PVA

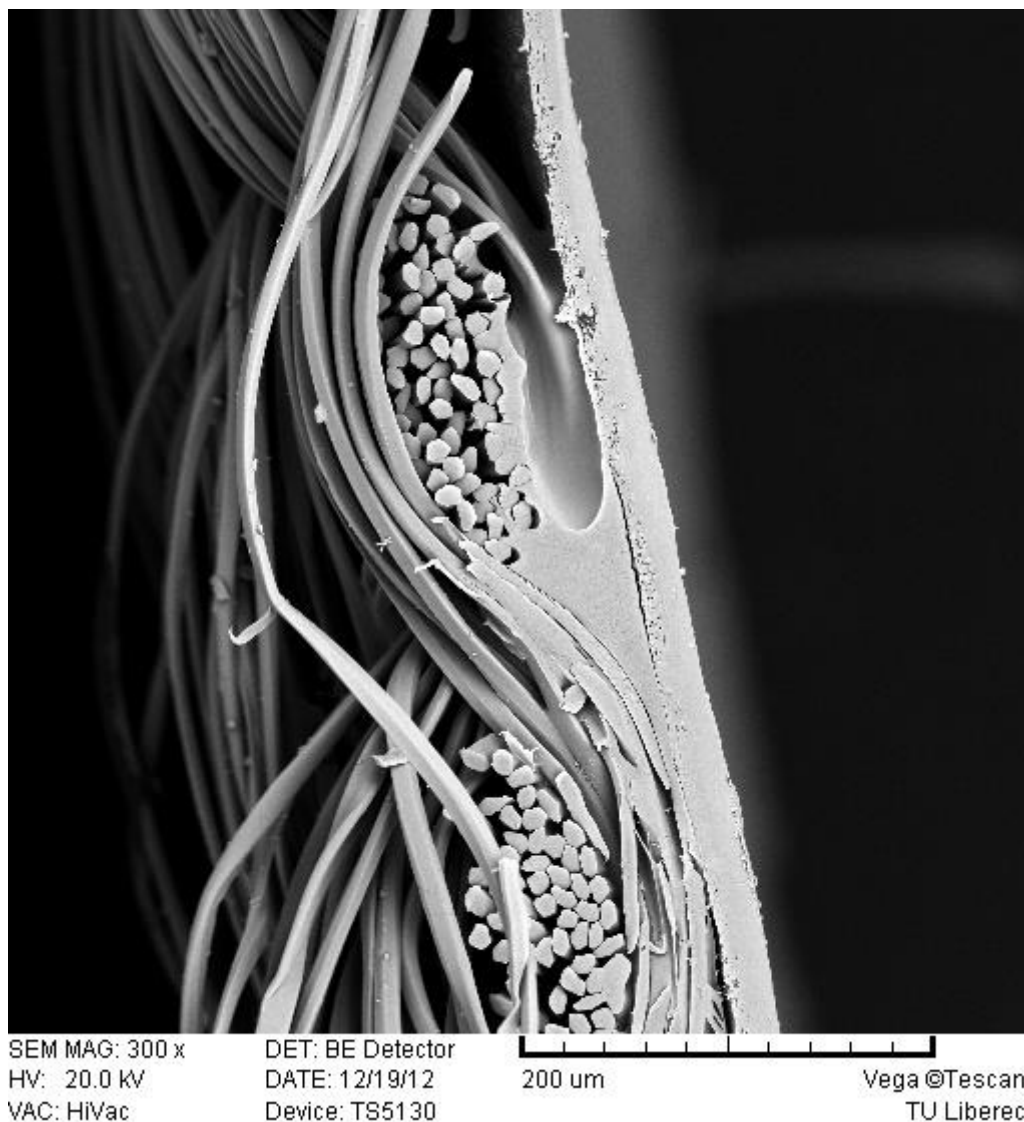
Materiálové složení svrchní vrstvy: 100% Nylon

Druh vazby svrchní vrstvy: Plátňová vazba–RIPSTOPER

Plošná hmotnost dvouvrstvého laminátu: 125,6g/m²

Tloušťka dvouvrstvého laminátu: 0,282mm

Druh membrány: Hydrofilní



Obr.31: Řez dvouvrstvého laminátu, kdy je na nanovlákenou vrstvu nanesen roztok s obsahem PVA.

7.5.2. Dvouvrstvý laminát PUR

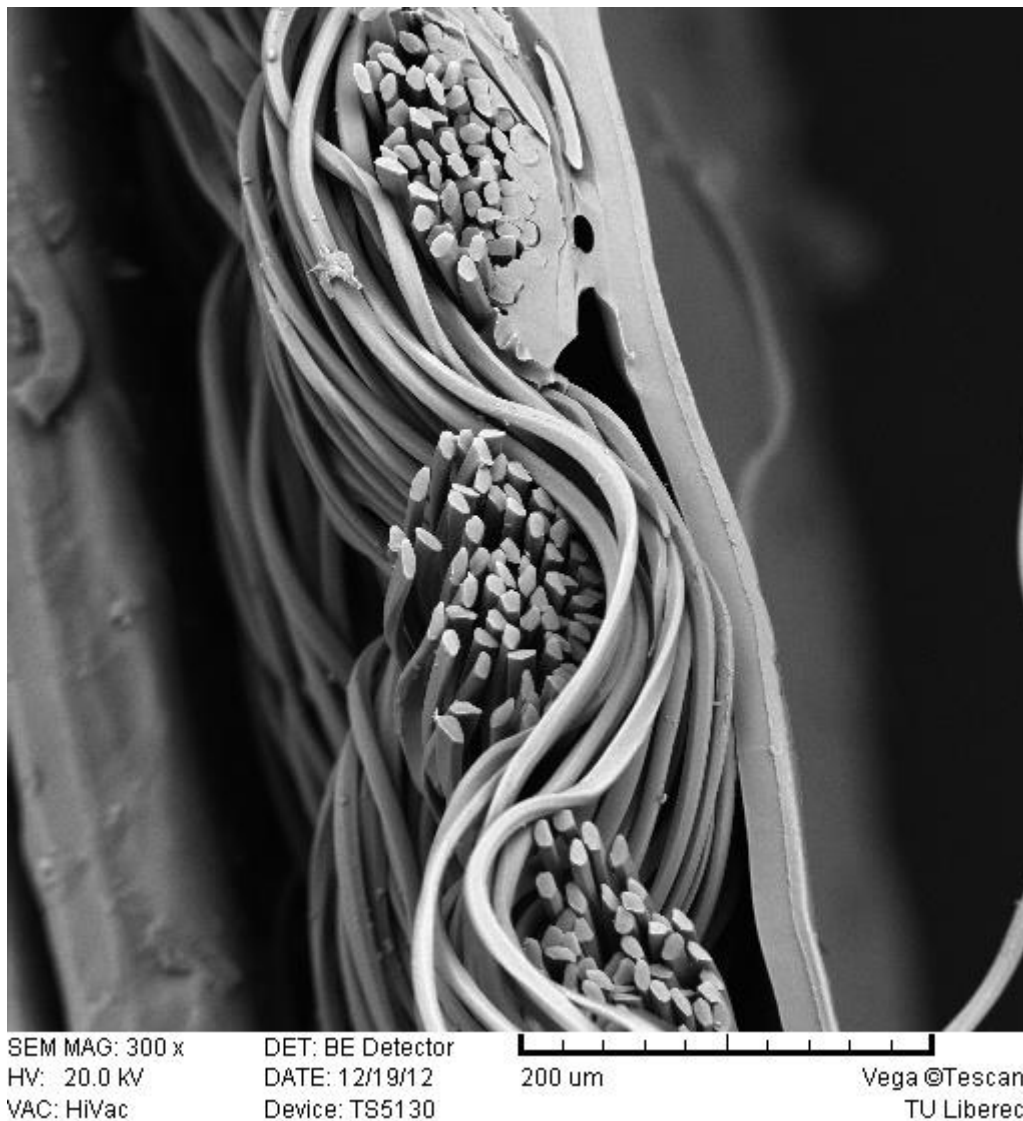
Materiálové složení svrchní vrstvy: 100% Nylon

Druh vazby svrchní vrstvy: Plátňová vazba -RIPSTOPER

Plošná hmotnost dvouvrstvého laminátu: 130,4g/m²

Tloušťka dvouvrstvého laminátu: 0,224mm

Druh membrány: Hydrofilní



Obr.32: Řez dvouvrstvého laminátu, kdy je na nanovlákenou vrstvu nanesen roztok s obsahem PUR.

8. LABORATORNÍ ZKOUŠKY, KTERÉ BYLY PROVEDENY NA HYDROFILNÍCH MEMBRÁNÁCH

8.1. První výsledky měření PVA

Prvotní zkoušky byly provedeny v malém množství vzorků, které byly ovlivněny silikonovou formou o rozměrech 20x20cm. Vzorky rozlišujeme podle hmotnosti naneseného roztoku na nanovlákenou vrstvu, kdy jsme po zasušení porovnali tloušťku a hmotnost membrán se světovými výrobci. Po tomto prvotním výzkumu jsme vybraly tři vyhovující hydrofilní membrány podle hmotnosti naneseného roztoku na nanovlákenou vrstvu (1.: 125g roztoku/m², 2.: 150g roztoku/m², 3.: 250g roztoku/m²). Dále pak byly vzorky přepočítány na hmotnost naneseného čistého polyvinylalkoholu na nanovlákenou vrstvu, podle kterých jsme tyto membrány rozlišovali v celém experimentu a přiřadili jim pořadová čísla **1.:15,5g 100%PVA/m², 2.:18,6 g 100%PVA/m², 3.:31 g 100%PVA/m².**

Po naměření zkušebních vzorku hydrofilních membrán jsme recepturu neupravovali, jelikož výsledky splňovali požadavky na komfort svrchního outdoorového oblečení. Dále bylo vytvořeno více vzorků pro laboratorní měření, které jsme statisticky zpracovali a vyhodnotili.

8.2. První výsledky měření PUR

Prvotní zkoušky byly provedeny v malém množství vzorků, které byly ovlivněny silikonovou formou o rozměrech 20x20cm. Vzorky rozlišujeme podle hmotnosti naneseného roztoku na nanovlákenou vrstvu, kdy jsme po zasušení porovnali tloušťku a hmotnost membrán se světovými výrobci. Po tomto prvotním výzkumu jsme vybraly tři vyhovující hydrofilní membrány podle hmotnosti naneseného roztoku na nanovlákenou vrstvu (1.: 125g roztoku/m², 2.: 150g roztoku/m², 3.: 250g roztoku/m²). Dále pak byly vzorky přepočítány na hmotnost naneseného čistého polyuretanu na nanovlákenou vrstvu, a v celém experimentu jsme jim přiřadili pořadová čísla **1.: 17,6 g 100% PUR/m², 2.:21,1g 100%PUR/m², 3.:35,2 g 100%PUR/m².**

Po naměření zkušebních vzorku hydrofilních membrán jsme recepturu modifikovali, jelikož některá prvotní měření nesplňovali komfort svrchního membránového oblečení. Roztok jsme modifikovali o přidání hydrofilní složky, nejdříve glycerol a poté slovasol.

Modifikace o přidání složky glycerol do základního roztoku s obsahem polyuretanu. Glycerol se do základního roztoku přidával v určité hmotnosti. Z glycerolu vznikala tvrdá část, která se po určité době zcela nerozmíchala. Nanesený roztok na nanovláknennou vrstvu nevykazoval dobré výsledky měření a po zkušebním měření jsme dále membrány nevyráběli a zkusili jsme druhou modifikaci o slovasol.

Slovasol při zkušebním měření vykazoval vylepšení stávající receptury, a proto bylo vytvořeno více vzorků pro laboratorní měření, které jsme statisticky zpracovali a vyhodnotili.

A) Zjišťování plošné hmotnosti

Tabulka 6: Zobrazuje průměrné naměřené hodnoty plošné hmotnosti vzorků membrány s roztokem obsahující PVA.

Polyvinylalkohol PVA	
Vzorky	Průměrná plošná hmotnost [g/m²]
1. 15,5g100%PVA/m ²	31,59
2. 18,6 g 100%PVA/m ²	32,54
3. 31 g 100%PVA/m ²	48,94

Jak je patrné z tabulky 6 čím je více naneseného roztoku na nanovláknennou vrstvu tím se hmotnost vzorku zvyšuje. U oblečení pro sportovní účely je důležité většinou dosáhnou při co nejmenší hmotnosti výrobku co možná nejvyšších funkčních vlastností. Musí udržovat tělo nositele v teple a suchu. Tyto vlastnosti jdou ovlivněny mnoha faktory, které jsou již popsány v teoretické části.

Tabulka 7: Zobrazuje průměrné naměřené hodnoty plošné hmotnosti vzorků membrány s roztokem obsahující PUR.

Polyuretan PUR	
Vzorky	Průměrná plošná hmotnost [g/m²]
1. 17,6 g 100% PUR/m ²	29,41
2. 21,1g 100%PUR/m ²	30,84
3. 35,2 g 100%PUR/m ²	39,62

V tabulce 7 jsou zaznamenány průměrné hodnoty plošné hmotnosti u membrán s roztokem obsahující PUR. Jak je patrné z této tabulky čím je více naneseného roztoku na nanovláčenou vrstvu tím je hmotnost větší.

Srovnání tabulky 6 a 7 je na první pohled viditelné že roztok, který obsahuje PUR je oproti roztoku obsahující PVA lehčí o cca 2g/m². Z tohoto hmotnostního srovnání nelze říci ještě žádná konečné řešení. Tento rozdíl je nepatrný, ale však splňuje požadavky pro výrobu membrán.

B) Zjišťování tloušťky materiálu

Tabulka 8: Zobrazuje průměrné naměřené hodnoty tloušťky materiálu membrány s roztokem PVA.

Polyvinylalkohol PVA	
Vzorky	Tloušťka materiálu h [mm]
1. 15,5g100%PVA/m ²	0,116
2. 18,6 g 100%PVA/m ²	0,182
3. 31 g 100%PVA/m ²	0,302

Tabulka 9: Zobrazuje průměrné naměřené hodnoty tloušťky materiálu membrány s roztokem PUR.

Polyuretan PUR	
Vzorky	Tloušťka materiálu h [mm]
1. 17,6 g 100% PUR/m ²	0,042
2. 21,1g 100%PUR/m ²	0,064
3. 35,2 g 100%PUR/m ²	0,098

Z tabulek 8 a 9 je na první pohled vidět, že o mnoho menší tloušťku mají membrány vyrobené s roztoku PUR. Tyto membrány jsou poddajnější. Membrány vyrobené s roztokem PVA jsou sice na dotek tvrdšího charakteru a podle zjištěné zkoušky tloušťky materiálu je silnější, ale pořád ji můžeme řadit do membrán pro svrchní oblečení.

V tabulkách jsou vždy tři druhy hmotností 100% PUR nebo PVA, které byly vždy pětkrát podrobeny zkoušce a z nich vypočítán průměr. Jek je také z tabulek patrné čím je vyšší hmotnost naneseného roztoku na nanovlákenou vrstvu tím je tloušťka materiálu vyšší.

C) Zjišťování prodyšnosti materiálu

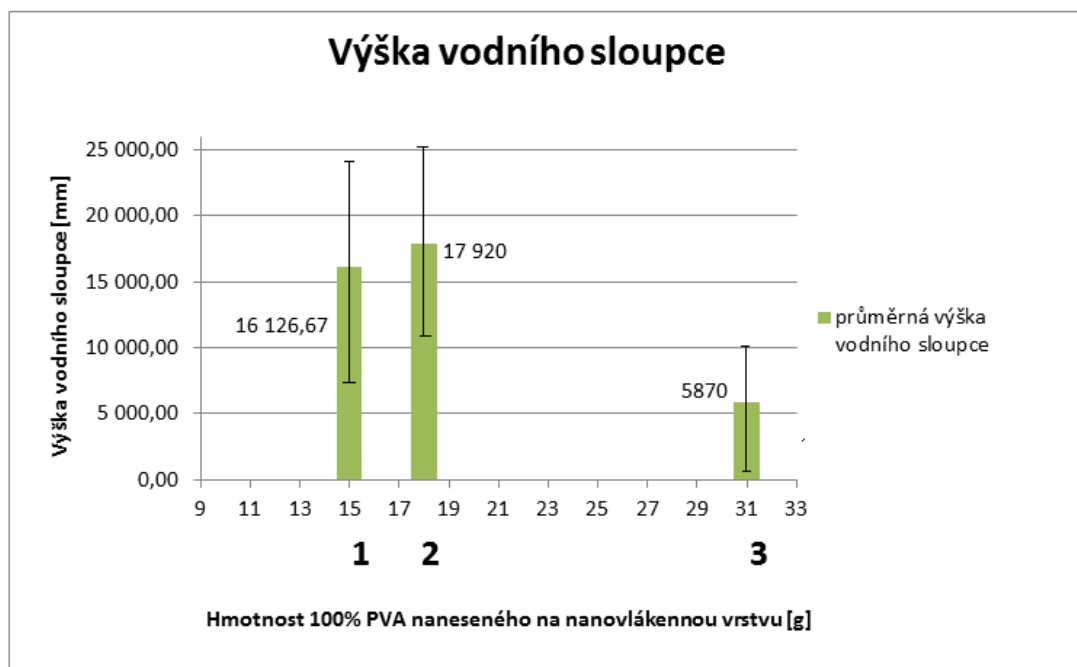
U všech tří druhů hydrofilní membrány pro roztok s obsahem polyvinylalkohol **1.:**15,5g 100%PVA/m², **2.:**18,6 g 100%PVA/m², **3.:** 31 g 100%PVA/m². a pro základní roztok s obsahem polyuretanu **1.:** 17,6 g 100% PUR/m², **2.:** 21,1g 100%PUR/m², **3.:**35,2 g 100%PUR/m² byla naměřená hodnota prodyšnosti nulová. Dále také pro modifikaci polyuretanu o složku slovasol byla neměřená hodnota prodyšnosti materiálu nulová.

D) Zjišťování hydrostatické odolnosti

Rozdělení vzorků bylo podle naneseného stoprocentního polyvinylalkoholu na jeden metr čtvereční **1.:**15,5g 100%PVA/m², **2.:**18,6 g 100%PVA/m², **3.:** 31 g 100%PVA/m².

Tabulka 10: Průměrné hodnoty výšky vodního sloupce a statistické zpracování u roztoku PVA.

	Průměrná výška vodního sloupce [mmH ₂ O]	Rozptyl s ²	Směrodatná odchylka s	Variační koeficient v	95% Interval spolehlivosti L _d	95% Interval spolehlivosti L _h
1. 15,5g 100%PVA/m²	16 126,67	11500633	3391,26	21,03	7702,31	24551,02
2. 18,6 g 100%PVA/m²	17 920	8652400	2941,50	16,41	10612,92	25227,08
3. 31 g 100%PVA/m²	5 870	4150900	2037,38	34,71	808,87	10931,12

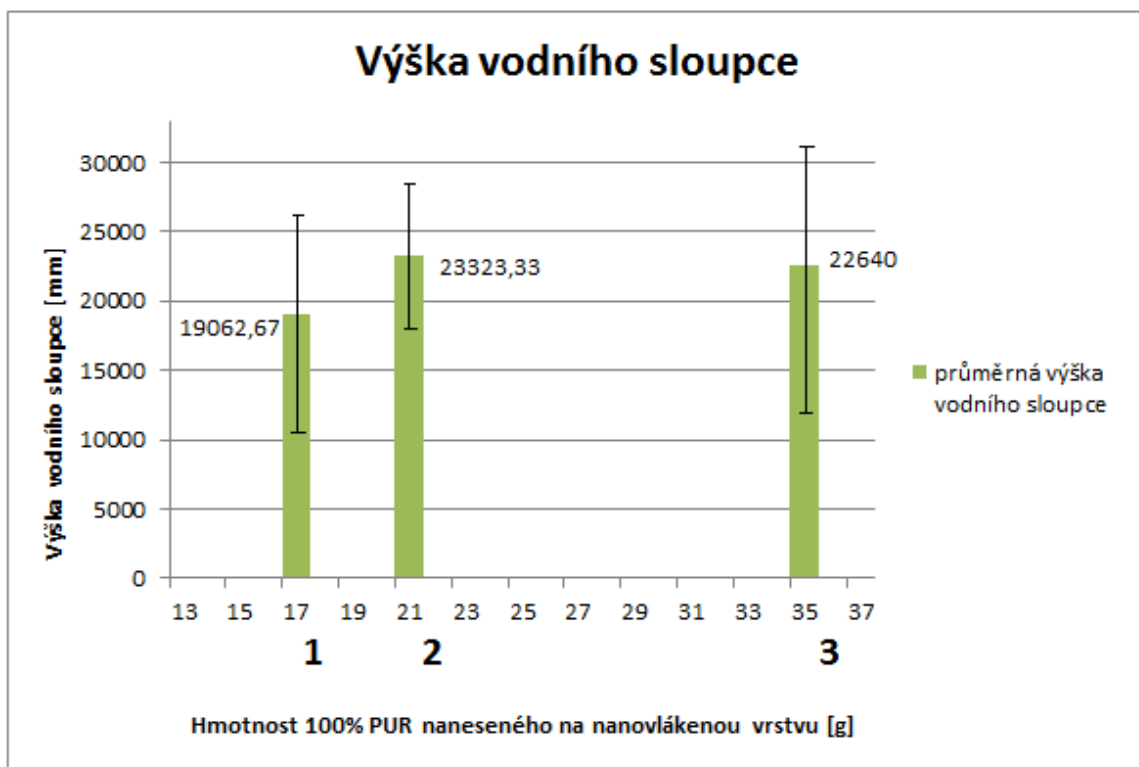


Graf 6: Průměrná výška vodního sloupce u roztoku PVA .

Jak je patrné z tabulky 10 a grafu 6 naměřené hodnoty u vzorku 1 (15,5g 100%PVA/m²) a 2 (18,6 g 100%PVA/m²) splňují hranici nepromokavosti u outdoorového oděvu a to více jak 10 000mm vodního sloupce. Však u vzorku číslo 2 (18,6 g 100%PVA/m²) byla naměřena nejvyšší výška vodního sloupce. Vzorek 3 (31 g 100%PVA/m²) nesplňuje tento požadavek, jelikož jeho výška vodního sloupce je malá. Roztok s obsahem PVA je křehčí a méně poddajnější oproti roztoku PUR. Silnější vrstva naneseného roztoku mohla zapříčinit nestejnoměrnost nánosu, kdy pak mohla být naměřena malá výška vodního sloupce. Všechny vzorky byly hydrostatické odolnosti podrobeny vždy třikrát, a z nichž je vypočtena průměrná hodnoty, kterou je viditelná na grafu 6.

Tabulka 11: Průměrné hodnoty výšky vodního sloupce a statistické zpracování u roztoku PUR.

	Průměrná výška vodního sloupce [mmH ₂ O]	Rozptyl s ²	Směrodatná odchylka s	Variační koeficient v	95% Interval spolehlivosti L _d	95% Interval spolehlivosti L _h
1. 17,6 g 100% PUR/m²	19 062,67	9112133	3018,63	15,84	11527,97	26525,36
2. 21,1g 100%PUR/m²	23323,33	3347033	1829,49	7,84	18778,63	27868,04
3. 35,2 g 100%PUR/m²	22640	16263700	4032,83	17,81	12621,9	32658,1



Graf 7: Průměrná výška vodního sloupce u roztoku PUR.

Jak je patrné z tabulky 11 a grafu 7 u vzorku 2 (21,1g 100%PUR/m²) jsou naměřené hodnoty nejvyšší. Oproti vzorku 1 (17,6 g 100% PUR/m²), kdy byla naměřená hodnota výšky vodního sloupce nejmenší. Na tuto membránu bylo naneseno nejméně nanoseného roztoku, kdy mohlo dojít k nesterhoměrnosti nebo neúplnému zalití nanovlákené vrstvy, kdy jsme pomocí klocovacího válečku roztírali polymerní vrstvu. Jako u předešlého roztoku každý vzorek byl zkoušce hydrostatická odolnost podroben třikrát. Jinak všechny vzorky splňují hranici výšky vodního sloupce u outdoorových materiálů a to hranici více jak 10 000mm.

MODIFIKACE roztoku obsahující polyuretan:

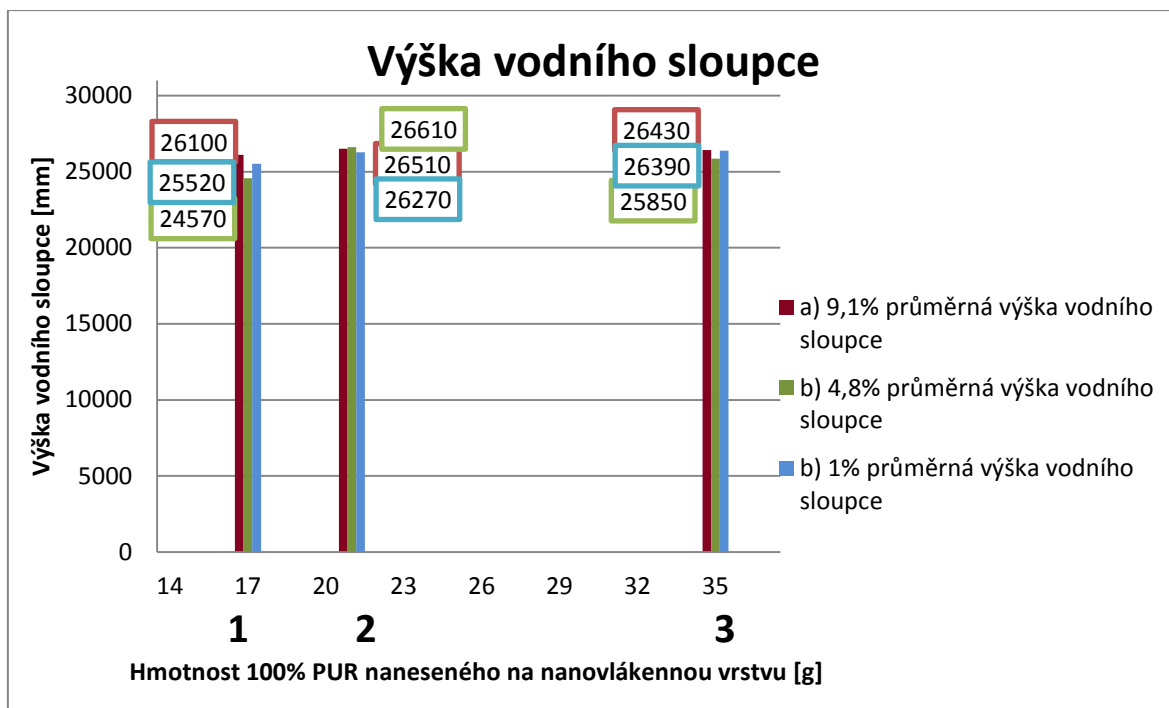
Procentuální vyjádření obsahu slovasolu v roztoku, při třech různých hmotností polyuretanu **1.:** 17,6 g 100% PUR/m², **2.:** 21,1g 100%PUR/m², **3.:**35,2 g 100%PUR/m² v roztoku naneseného na nanovláknennou vrstvu.

- a) **9,1%**
- b) **4,8%**
- c) **1%**

Tabulka 12: Průměrná hodnoty výšky vodního sloupce a statistické zpracování u roztoku PUR modifikovaný o slovasol.

		Průměrná výška vodního sloupce [mmH ₂ O]	Rozptyl s ²	Směrodatná odchylka s	Variační koeficient v	95% Interval spolehlivosti L _d	95% Interval spolehlivosti L _h
a) 9,1%	1.	26100	350400	591,95	2,27	24629,52	27570,48
	2.	26510	9300	96,44	0,36	26270,44	26749,56
	3.	26430	7900	88,88	0,34	26209,21	26650,79
b) 4,8%	1.	24570	5203900	2281,21	9,28	18903,17	30236,83
	2.	26610	87300	295,47	1,11	25876,02	27343,98
	3.	25850	373300	610,98	2,36	24332,23	27367,77
c) 1%	1.	25520	1290900	1136,18	4,45	22697,58	28342,42
	2.	26270	120400	346,99	1,32	25408,04	27131,96
	3.	26390	181300	425,79	1,61	25332,27	27447,73

Tabulka 12 udává průměrné hodnoty a další statistické zpracování výsledků hydrostatické odolnosti. Měření u všech druhů materiálu proběhlo vždy třikrát a dále jsou výsledky statisticky zpracované. Výšky vodního sloupce s větším procentuálním přidáním složky slovasol výrazně neovlivnila a hodnoty byly ve všech třech koncentracích srovnatelné.



Graf 8: Průměrná výška vodního sloupce u roztoku PUR modifikovaného o slovasol.

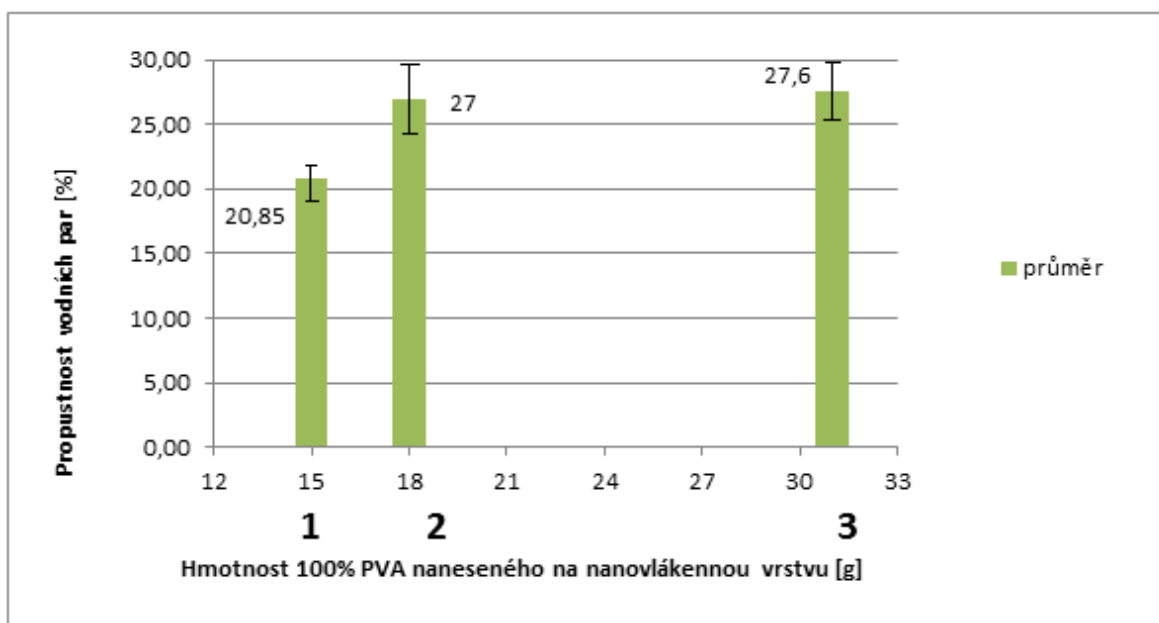
Graf 8, kde jsou znázorněny výšky vodního sloupce u modifikovaného roztoku obsahující PUR o složku slovasol. Nejmenší procentuální přidání slovasolu do roztoku je 1%, kdy je znázorněna v grafu modrou barvou. Střední přidání slovasolu do základního roztoku je 4,8% a výšky vodního sloupce jsou znázorněny zelenou barvou. A největší přidání slovasolu do základního roztoku činí 9,1% a v grafu je tato koncentrace znázorněna červeně. Největší hydrostatickou odolnost měla membrána se střední koncentrací slovasolu (4,8%) a hmotností 21,1g 100%PUR/m². Naopak nejmenší výšku vodního sloupce vykazovala membrána s nejmenší koncentrací slovasolu (1%) a zároveň s nejmenší hmotností 17,6 g 100% PUR/m². Nejmenší výšku vodního sloupce mohlo zapříčinit nesterhomerné rozetření polymerního nánosu, kdy se provádělo pomocí klocovacího válečku.

E) Zjišťování propustnosti vodních par

Rozdělení vzorků bylo podle naneseného stoprocentního polyvinylalkoholu na jeden metr čtvereční **1.:**15,5g 100%PVA/m², **2.:**18,6 g 100%PVA/m², **3.:** 31 g 100%PVA/m².

Tabulka 13: Průměrné naměřené hodnoty propustnosti vodních par (PVA), které jsou dále statisticky vyhodnoceny.

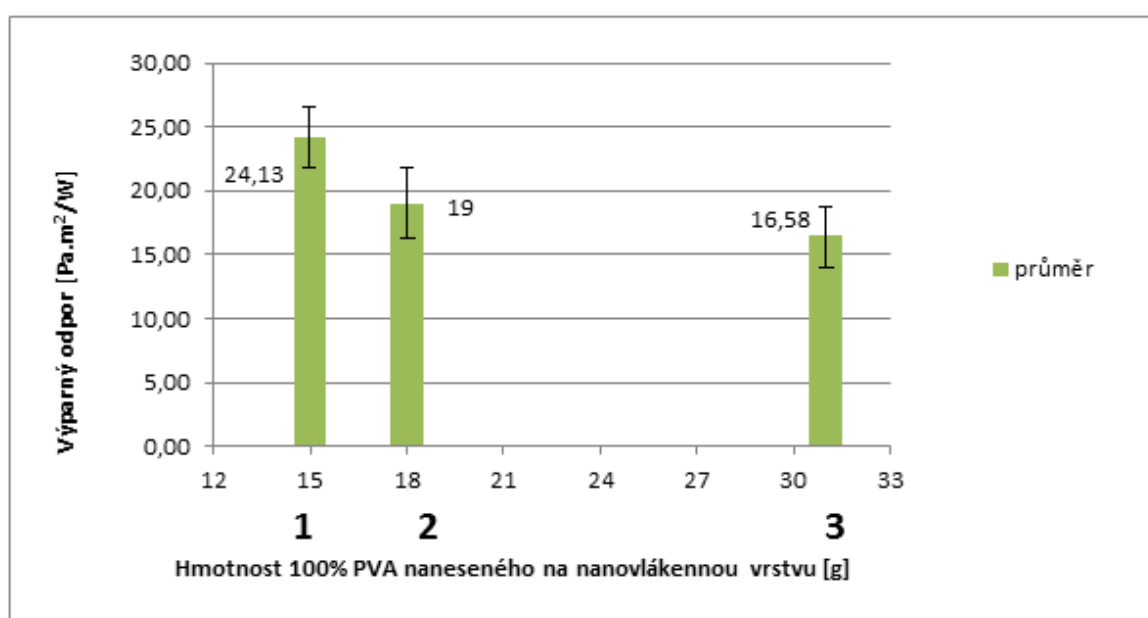
	Průměr p [%]	Rozptyl s²	Směrodatná odchylka s	Variační koeficient v	95% Interval spolehlivosti i L_d	95% Interval spolehlivosti L_h
1.	20,85	3,85	1,96	9,41	19,45	22,25
2.	26,89	13,13	3,62	13,47	24,29	29,48
3.	27,6	10,15	3,19	11,54	25,32	29,88



Graf 9: Paropropustnost vodních par u roztoku obsahující PVA.

Tabulka 14: Zobrazuje průměrné naměřené hodnoty výparného odporu (PVA), které jsou dále statisticky vyhodnoceny.

	Průměr Ret[Pa.m ² /W]	Rozptyl s ²	Směrodatná odchylka s	Variační koeficient v	95% Interval spolehlivosti L _d	95% Interval spolehlivosti L _h
1.	24,13	8,53	2,92	12,11	22,04	26,21
2.	18,98	14,98	3,87	20,39	16,21	21,74
3.	16,58	7,02	2,64	15,98	14,68	18,47



Graf 10: Výparného odporu u roztoku obsahující PVA.

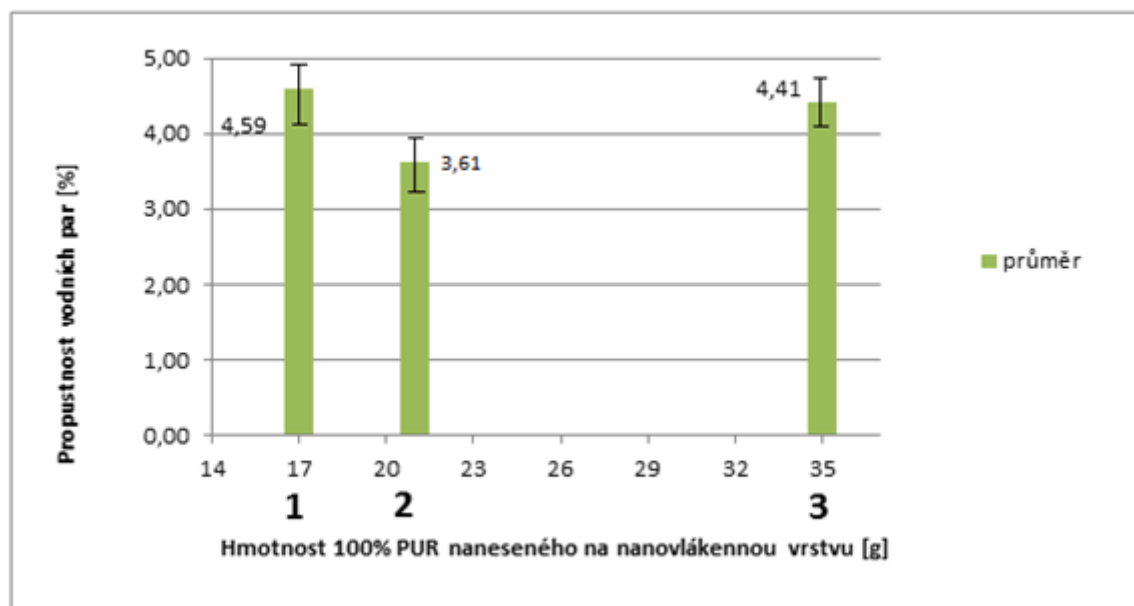
Pomocí přístroje PERMETEST je změřený tepelný tok, který je přímo úměrný s relativní propustností vodních par a z údajů umí vypočítat výparný odpor. Vyrobené vzorky hydrofilní membrány s obsahem polyvinylalkoholu při zkoušce paropropustnosti vykazovaly dobré výsledky a proto jsme podrobili vzorky dalším testům a na základě výšky vodního sloupce jsme se rozhodli, zda bude roztok dále modifikován. Sice podle klasifikační tabulky 2 je výparný odpor neuspokojivý pro vzorek 1 (15,5g 100%PVA/m²), ale u zbývajících dvou je hodnota uspokojivá. Nejnižší hodnota výparného odporu byla

zjištěna u vzorku číslo 3 (31 g 100%PVA/m²) $Ret = 16,58 \text{ Pa} \cdot \text{m}^2/\text{W}$, tato membrána vykazuje tedy i nejlepší paropropustnost $p = 27,6\%$.

Dále jsme roztok nemodifikovali.

Tabulka 15: Průměrné naměřené hodnoty propustnosti vodních par (PUR), které jsou dále statisticky vyhodnoceny.

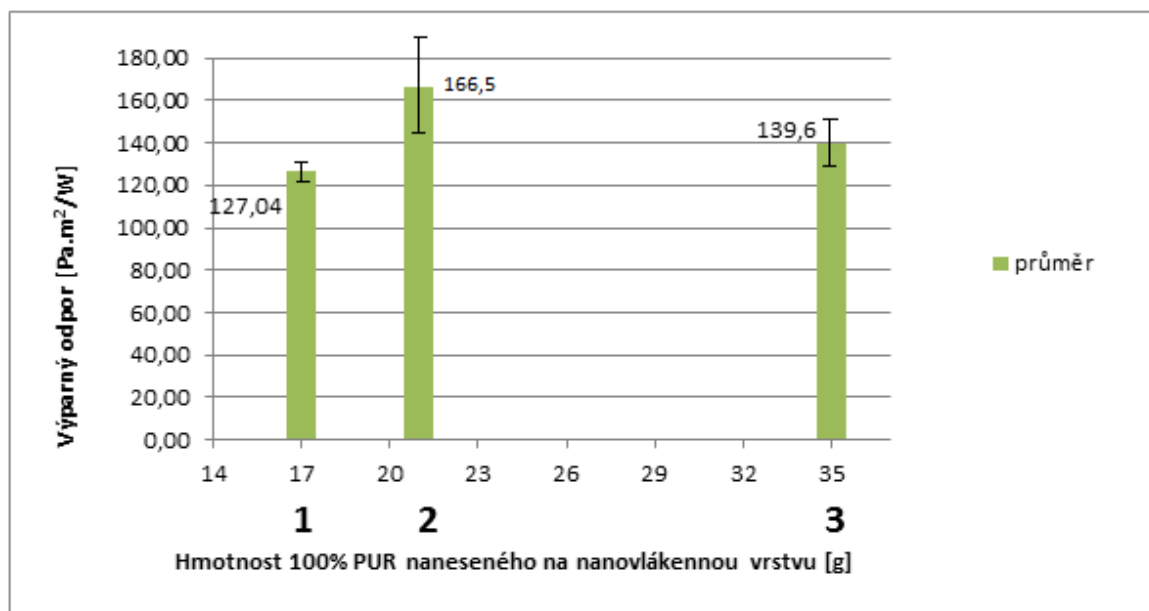
	Průměr p [%]	Rozptyl s^2	Směrodatná odchylka s	Variační koeficient v	95% Interval spolehlivosti i L_d	95% Interval spolehlivosti L_h
1.	4,59	0,169	0,412	8,976	4,295	4,885
2.	3,61	0,277	0,526	14,571	3,234	3,986
3.	4,41	0,165	0,407	9,229	4,119	4,701



Graf 11: Porovnání průměrných propustností vodních par u roztoku obsahující PUR.

Tabulka 16: Zobrazuje průměrné naměřené hodnoty výparného odporu (PUR), které jsou dále statisticky vyhodnoceny.

	Průměr Ret[Pa.m ² /W]	Rozptyl s ²	Směrodatná odchylka s	Variační koeficient v	95% Interval spolehlivosti L _d	95% Interval spolehlivosti L _h
1.	127,04	28,98	5,38	4,23	123,19	130,89
2.	166,5	896,26	29,94	17,98	145,08	187,92
3.	139,6	171,05	13,08	9,37	130,24	148,96



Graf 12: Výparného odporu u roztoku obsahující PUR.

U membrán, kdy byl použit roztok s obsahem polyuretanu, byly výsledky natolik neuspokojivé, že jsme roztok modifikovali o slovasol ve třech různých koncentracích, které jsou níže popsány.

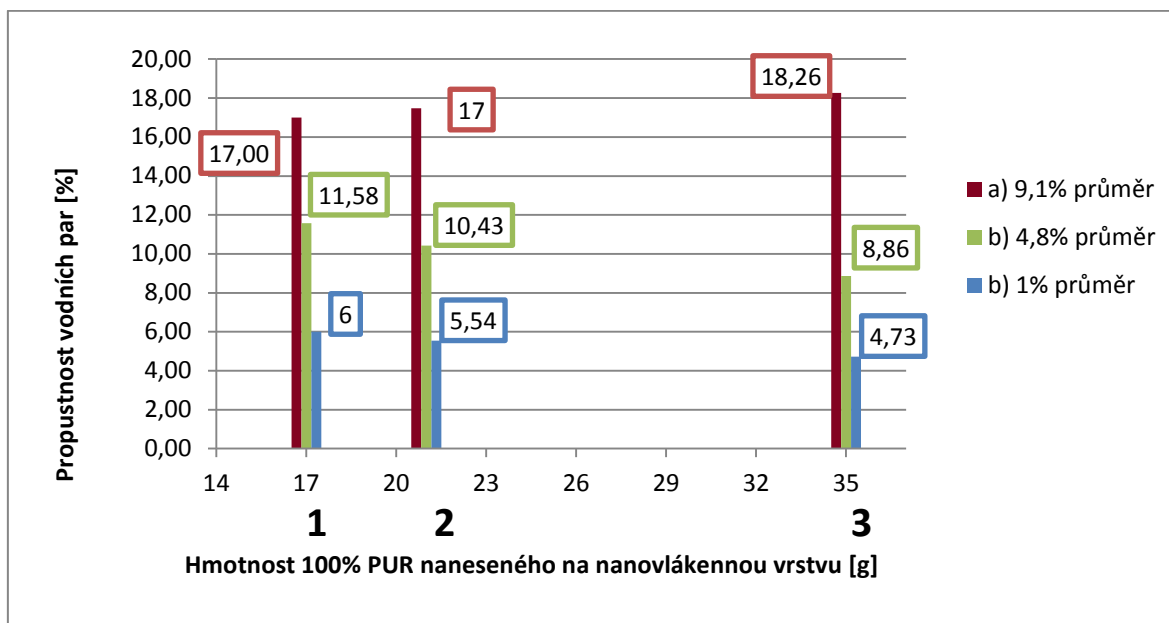
MODIFIKACE roztoku obsahující polyuretan:

Procentuální vyjádření obsahu slovasolu (9,1%, 4,8%, 1%) v roztoku, při třech různých hmotnostech naneseného nezasušeného roztoku na nanovláknennou vrstvu 1.: 125 g/m², 2.: 150g/m², 3.:250 g/m².

- a) 9,1%
- b) 4,8%
- c) 1%

Tabulka 17: Průměrné naměřené hodnoty propustnosti vodních par u modifikovaného roztoku obsahující PUR.

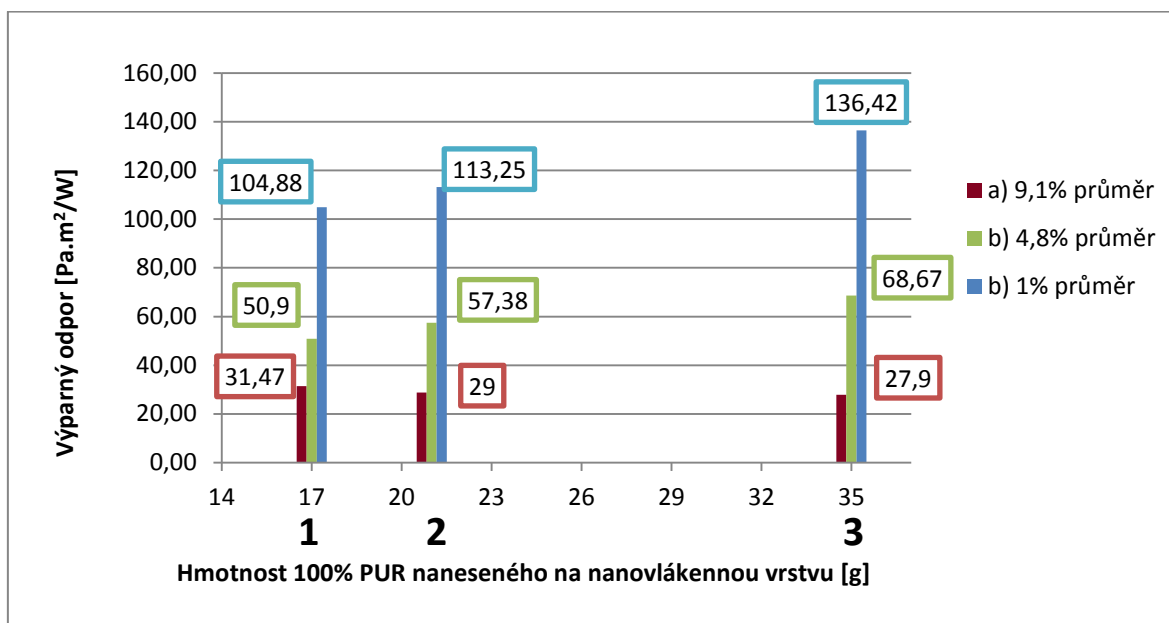
		Průměr p [%]	Rozptyl s ²	Směrodatná odchylka s	Variační koeficient v	95% Interval spolehlivo sti L _d	95% Interval spolehlivo sti L _h
a) 9,1%	1.	17	7,767	2,787	16,39	15,006	18,994
	2.	17,47	4,238	2,059	11,79	15,997	18,943
	3.	18,26	8,785	2,964	16,23	16,140	20,380
b) 4,8%	1.	11,58	1,302	1,141	9,85	10,764	12,396
	2.	10,43	1,016	1,008	9,66	9,709	11,151
	3.	8,86	0,900	0,949	10,71	8,181	9,539
c) 1%	1.	6	0,138	0,371	6,18	5,734	6,266
	2.	5,54	0,105	0,324	5,85	5,308	5,772
	3.	4,73	0,049	0,221	4,67	4,572	4,888



Graf 13: Průměrné hodnoty propustnosti vodních par u modifikovaného roztoku obsahující PUR.

Tabulka 18: Průměrné naměřené hodnoty výparného odporu u modifikovaného roztoku obsahující PUR.

		Průměr Ret[Pa.m ² /W]	Rozptyl s ²	Směrodatná odchylka s	Variační koeficient v	95% Interval spolehlivo sti L _d	95% Interval spolehlivo sti L _h
a) 9,1%	1.	31,47	35,853	5,988	19,03	27,187	35,753
	2.	28,82	10,837	3,292	11,42	26,465	31,175
	3.	27,9	33,213	5,763	20,66	23,777	32,023
b) 4,8%	1.	50,9	37,142	6,094	11,97	46,540	55,260
	2.	57,38	33,384	5,778	10,01	53,247	61,513
	3.	68,67	73,771	8,589	12,51	62,526	74,814
c) 1%	1.	104,88	54,140	7,358	7,02	99,616	110,144
	2.	113,25	40,836	6,390	5,64	108,679	117,821
	3.	136,42	38,668	6,218	4,56	131,972	140,868



Graf 14: Průměrné hodnoty výparného odporu u modifikovaného roztoku obsahující PUR.

Jak je patrné z tabulky 18 a grafu 14 hodnoty výparného odporu u modifikovaného roztoku obsahující polyuretan výrazně klesly a naopak paropropustnost vzrostla. Největší rozdíl je u první modifikace kdy roztok obsahoval až 9,1% slovasolu. Tyto hodnoty jsou v grafech znázorněny červenou barvou a jsou ještě v porovnání s tabulkou 2 neuspokojivou klasifikaci prodyšnosti materiálu. V přípravě výroby membrán v laboratorních podmínkách to byl v experimentální části veliký úspěch, kdy se nám pomocí přidání chemikálie slovasol podařilo dosáhnout lepšího komfortu až téměř výparného odporu snížení o cca $130 \text{ Pa.m}^2/\text{W}$.

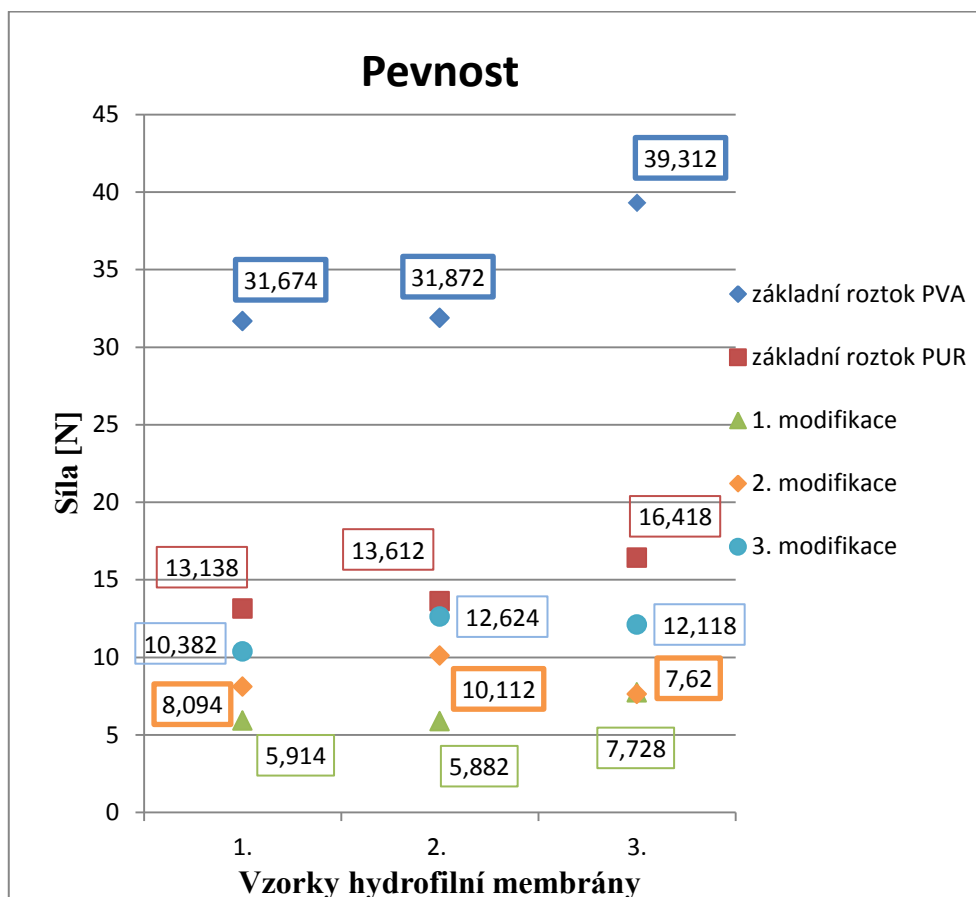
F) Zjišťování pevnosti materiálu

Doplňující zkoušku jsme zvolili pevnost materiálu, kdy jsou svrchní membránové oděvy vystaveny mnohým zkouškám pro komfort nositele a jeho sportovním aktivitám.

Všechny druhy hydrofilních membrán jsme vždy podrobili zkoušce pevnosti pětkrát. Každý druh materiálu byl rozdělen do tří různých hmotností naneseného nezasušeného roztoku na nanovláknennou vrstvu **1.:** 125 g/m², **2.:** 150g/m², **3.:**250 g/m².

Tabulka 19: Základní statistické vyhodnocení pevnosti membrán.

		Průměrná pevnost [N]	Rozptyl s ²	Směrodatná odchylka s	Variační koeficient v	95% Interval spolehlivosti L _d	95% Interval spolehlivosti L _h
Základní roztok PVA	1.	31,7	18,06	4,25	13,41	26,39	36,95
	2.	31,9	27,06	5,20	16,30	25,41	38,33
	3.	39,3	5,26	2,29	5,83	36,46	42,16
Základní roztok PUR	1.	13,1	1,07	1,03	7,86	11,85	14,42
	2.	13,6	0,44	0,66	4,85	12,79	14,43
	3.	16,4	5,77	2,40	14,63	13,43	19,40
1.Modifikace a) 9,1%	1.	5,9	0,28	0,53	8,98	5,26	6,57
	2.	5,9	0,25	0,49	8,31	5,26	6,50
	3.	7,7	0,50	0,71	9,22	6,85	8,61
2. Modifikace b) 4,8%	1.	8,1	0,64	0,79	9,75	7,10	9,09
	2.	10,1	2,85	1,69	16,73	8,01	12,21
	3.	7,6	0,08	0,29	3,82	7,27	7,97
3. Modifikace c) 1%	1.	10,4	1,69	1,29	12,40	8,77	11,99
	2.	12,6	1,42	1,19	9,44	11,14	14,10
	3.	12,1	0,91	0,95	7,85	10,94	13,30



Graf 15: Průměrná pevnost membrán.

V tabulce 19 a v grafu 15 jsou znázorněny průměrné pevnosti membrán, kdy síla F je v jednotkách newton N. Největší pevnost byla zaznamenána u membrány, na niž byl nanesen roztok s polyvinylalkoholem. Druhým nejpevnějším materiálem byl základní roztok s obsahem polyuretanu. Nejmenší pevnost však vykazoval vzorek , ve kterém byl největší podíl slovasolu, tím pádem lze říci že čím bylo více přidáno do základního roztoku slovasolu, tím i klesala pevnost vyrobené membrány.

DVOUVRSTVÝ LAMINÁT:

Pro dvouvrstvý laminát jsme zvolily dva typy membrán. Jednu membránu jsme vybrali od roztoku obsahující polyvinylalkohol **18,6 g 100%PVA/m²** a druhou od roztoku obsahující polyuretan. Membrána obsahující roztok polyuretan byla však vybrána: první modifikace o 9,1% slovasolu a plošnou hmotností **21,1g 100%PUR/m²**, jelikož vykazovala nejlepší paropropustnost.

A) Zjišťování plošné hmotnosti

Plošná hmotnost u každého druhu dvouvrstvého laminátu se vždy měřila pětikrát na vzorku 100x100mm, kdy byla následně hmotnost vzorku přepočítána na g/m². V tabulce 20 jsou zaznamenány průměrné hodnoty z naměřených dat a následně statisticky vyhodnoceny.

Tabulka 20: Průměrné plošné hmotnosti u dvouvrstvého laminátu.

Vzorky	Průměrná plošná hmotnost [g/m²]
1. PVA	130,4
2. PUR	125,6

Plošná hmotnost, která je znázorněna v tabulce 20, u dvouvrstvého laminátu s odlišnými hydrofilními membránami je o cca 5g/m², což ve výsledném vyrobeném oděvu je zanedbatelné.

B) Zjišťování tloušťky materiálu

Tloušťka materiálu u každého druhu dvouvrstvého laminátu se vždy měřila pětkrát. V tabulce 21 jsou zaznamenány průměrné hodnoty z naměřených dat a následně statisticky vyhodnoceny.

Tabulka 21: Průměrné hodnoty tloušťky materiálu u dvouvrstvého laminátu.

Vzorky	Tloušťka materiálu h [mm]
1. PVA	0,282
2. PUR	0,224

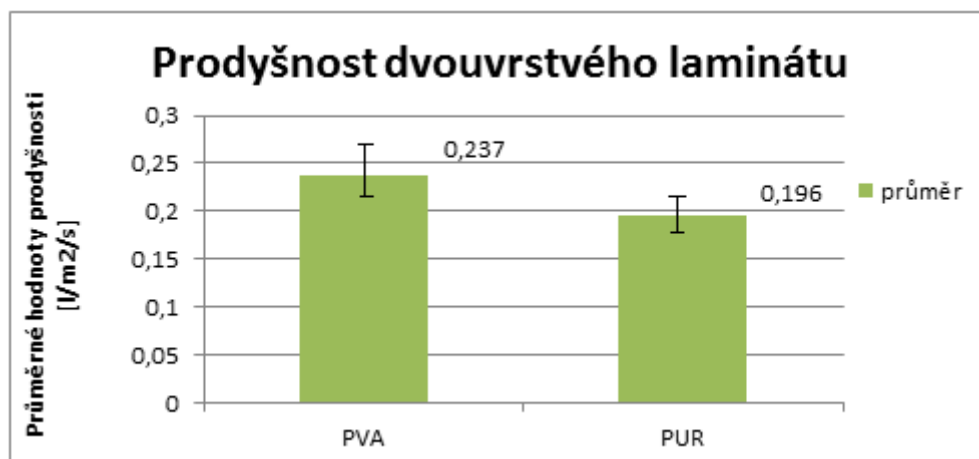
Průměrné hodnoty tloušťky dvouvrstvého laminátu jsou zaznamenány v tabulce 21. Tato hodnoty jsou u membrány obsahující polyvinylalkohol o cca 0,06mm větší oproti membráně obsahující polyuretan. Rozdílnost hodnot je tak malá, že na dotek není patrný rozdíl.

C) Zjišťování prodyšnosti materiálu

Prodyšnost materiálu u každého druhu dvouvrstvého laminátu se vždy měřila pětkrát. V tabulce 22 jsou zaznamenány průměrné hodnoty z naměřených dat a následně statisticky vyhodnoceny.

Tabulka 22: Zobrazuje průměrné hodnoty prodyšnosti dvouvrstvého laminátu.

	Průměrná prodyšnost [l/m ² /s]	Rozptyl s ²	Směrodatná odchylka s	Variační koeficient v	95% Interval spolehlivosti L _d	95% Interval spolehlivosti L _h
1. PVA	0,237	0,00097	0,0312	13,16	0,1985	0,2759
2. PUR	0,196	0,00010	0,0102	5,20	0,1837	0,2091



Graf 16: Průměrné hodnoty prodyšnosti dvouvrstvého laminátu.

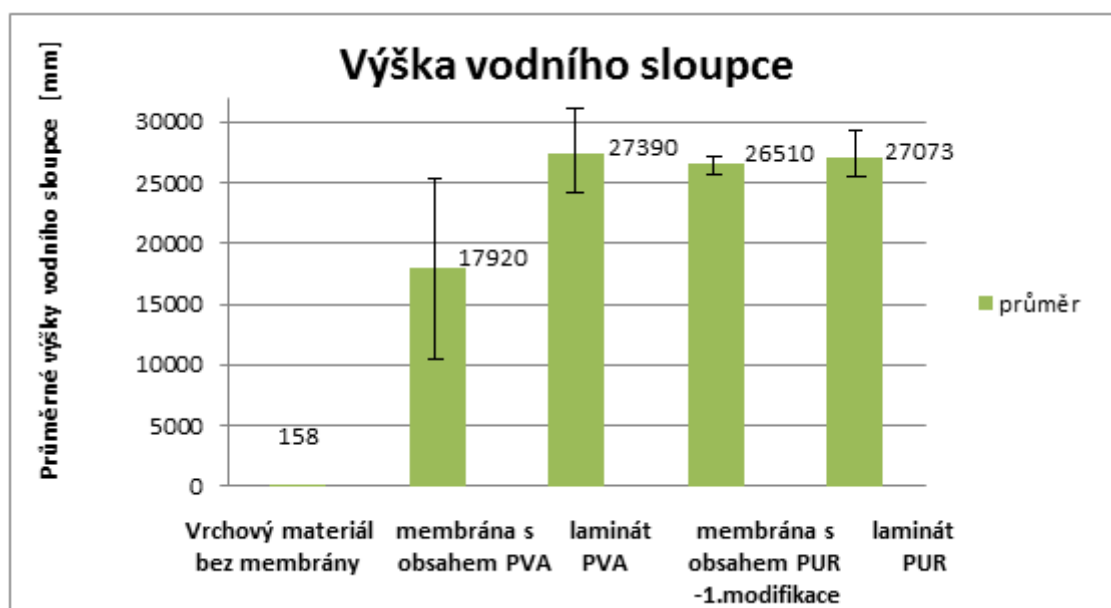
Průměrné hodnoty prodyšnosti dvouvrstvého laminátu je zaznamenána ve spojnicovém grafu 16. Vyšší hodnotu prodyšnosti má dvouvrstvý laminát s membránou obsahující v roztoku polyvinylalkohol. Oproti dvouvrstvému laminátu s membránou obsahující v roztoku složku polyuretan.

D) Zjišťování hydrostatické odolnosti

Hydrostatická odolnost materiálu u každého druhu dvouvrstvého laminátu se vždy měřila třikrát. V tabulce 23 jsou zaznamenány průměrné hodnoty z naměřených dat a následně statisticky vyhodnoceny.

Tabulka 23: Zobrazeny průměrné výšky vodního sloupce.

	Průměrná výška vodního sloupce [mmH ₂ O]	Rozptyl s ²	Směrodatná odchylka s	Variační koeficient v	95% Interval spolehlivosti L _d	95% Interval spolehlivosti L _h
1. PVA	27390	2124300	1457,50	5,32	23769,37	31010,63
2. PUR	27073	541033,3	735,5497	2,71	25246,13	28900,54



Graf 17: Průměrná výška vodního sloupce.

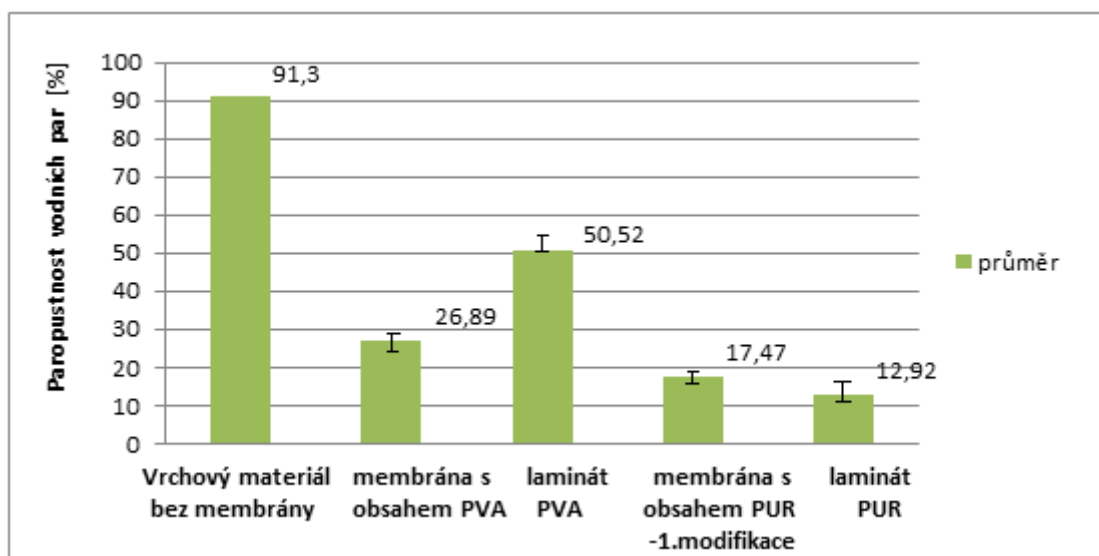
V grafu 17 je pro porovnání znázorněné výšky vodního sloupce, jak u dvouvrstvého laminátu, tak i u samotné membrány. Dále také je pro ukázkou znázorněn samotný vrchový materiál. Jak laminát s membránou obsahující polyvinylalkohol tak i laminát s membránou obsahující polyuretan je vždy hodnota vodního sloupce vyšší ve srovnání se samotnými membránami. Však vyšší hodnotu hydrostatické odolnosti má laminát s membránou obsahující polyvinylalkohol. Výšky vodního sloupce jsou srovnatelné či dokonce větší v porovnání se světovými výrobci outdoorového oblečení.

E) Zjišťování propustnosti vodních par

Propustnost vodních par materiálu u každého druhu dvouvrstvého laminátu se vždy měřila pětkrát. V tabulce 24 a 25 jsou zaznamenány průměrné hodnoty z naměřených dat a následně statisticky vyhodnoceny.

Tabulka 24: Průměrné naměřené hodnoty propustnosti vodních par dvouvrstvého laminátu.

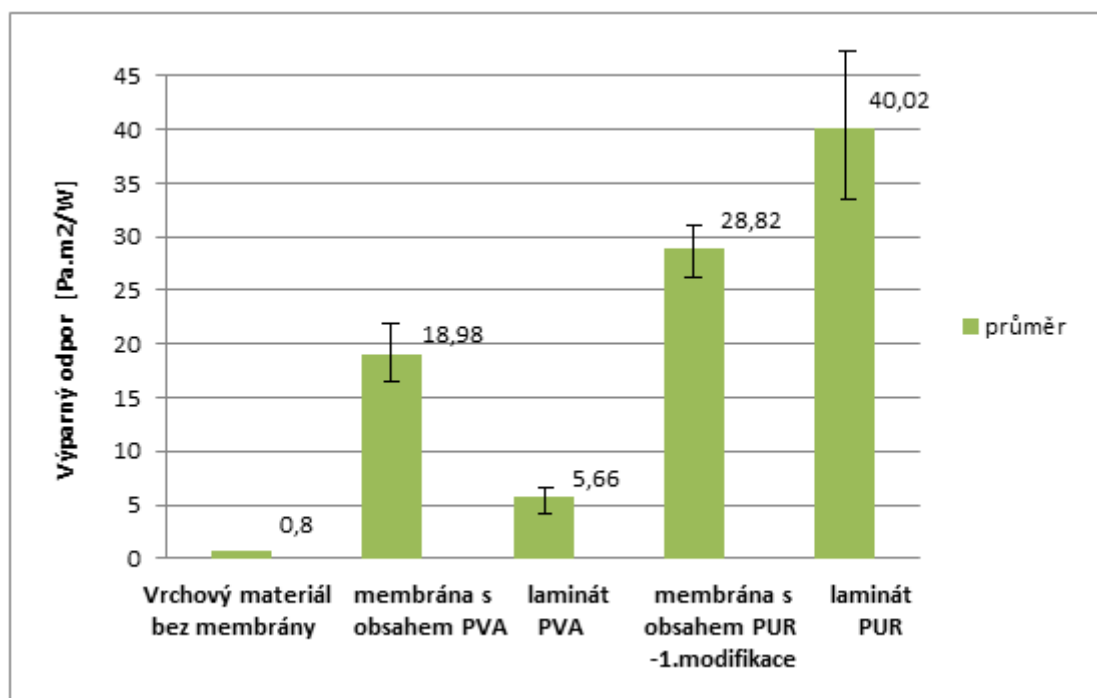
	Průměr p [%]	Rozpty $1 s^2$	Směrodatná odchylka s	Variační koeficient v	95% Interval spolehlivosti $i L_d$	95% Interval spolehlivosti L_h
1.PVA	50,52	17,87	4,23	8,37	50,52	55,77
2.PUR	12,92	3,57	1,89	14,63	10,57	15,27



Graf 18: Průměrné hodnoty propustnosti vodních par.

Tabulka 25: Zobrazuje průměrné naměřené hodnoty výparného odporu dvouvrstvého laminátu.

	Průměr Ret[Pa.m ² / W]	Rozpty l s ²	Směrodatn á odchylka s	Variační koeficien t v	95% Interval spolehlivost i L _d	95% Interval spolehlivost i L _h
1.PVA	5,66	1,34	1,16	20,49	4,22	7,10
2.PUR	40,02	30,47	5,52	13,79	33,17	46,87



Graf 19: Průměrné hodnoty výparného odporu.

V grafu 18 a 19 jsou znázorněny hodnoty pro porovnání paropropustnosti a výparného odporu, jak u dvouvrstvého laminátu, tak i u samotné membrány. Dále také je pro ukázkou znázorněn samotný vrchový materiál. Pomocí přístroje PERMETEST je změřený tepelný tok, který je přímo úměrný s relativní propustností vodních par a z údajů umí vypočítat výparný odpor. Jak lze předpokládat u vyrobené samotné membrány roztok obsahující polyuretan (1.modifikace o 9,1% slovasolu do základního roztoku) je

paropropustnější než vytvořený dvouvrstvý laminát se stejnou membránou. Tato hodnota vzrostla až o necelý dvojnásobek samotné membrány. Vytvořený dvouvrstvý laminát má podle tabulky 2 neuspokojivý výparný odpor, ale jinak je membrána příjemná na dotek.

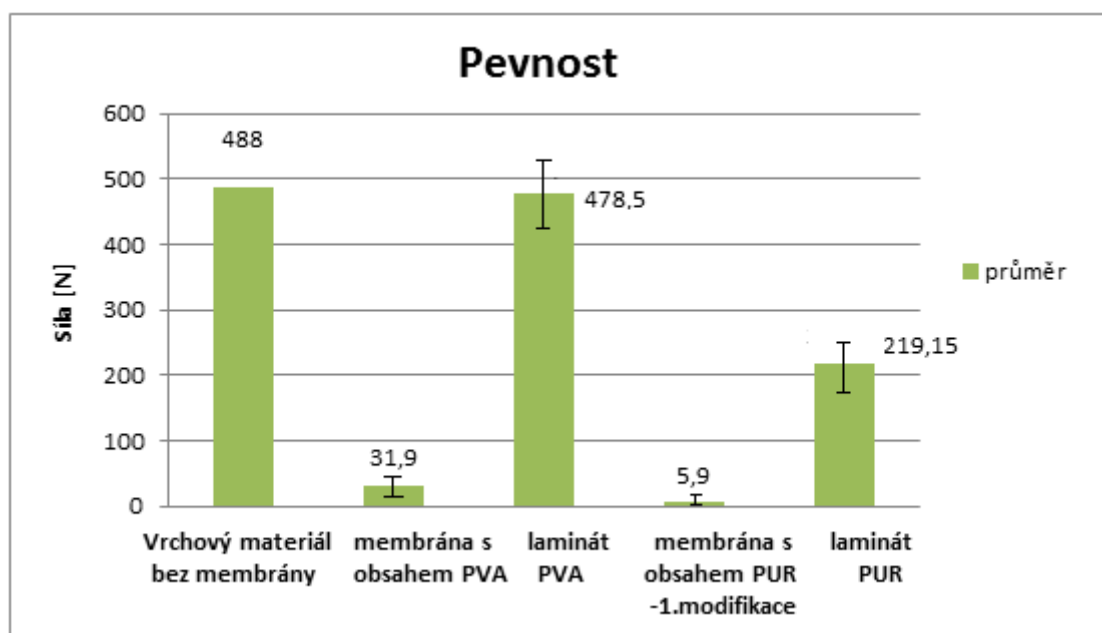
Vyrobená hydrofilní membrána s obsahem polyvinylalkoholu při zkoušce paropropustnosti vykazovaly uspokojivé výsledky, a proto byla použita i do dvouvrstvého laminátu. Dvouvrstvý laminát vykazoval nejlepší výsledky, které ani někteří světový výrobci u některých svých outdoorových výrobků nemají. Tento výsledek výparného odporu $R_{et}=5,66 \text{ Pa}\cdot\text{m}^2/\text{W}$ a paropropustnosti $p=50,52\%$ je neočekávaný. Jelikož lze předpokládat, že když samotná membrána vykazuje výparného odporu $R_{et}=18,98\text{Pa}\cdot\text{m}^2/\text{W}$ a paropropustnosti $p=26,89\%$ bude hodnota výparného odporu vyšší a paropropustnost bude nižší. V našem případě hodnota výparného odporu výrazně klesla a paropropustnost vzrostla, z toho vyplývá, že při laminaci a působení teploty, tlaku a době kdy na materiál působili předešlé dvě hodnoty muselo dojít k reakci, kdy se stal výsledný laminát komfortnější.

F) Zjišťování pevnosti materiálu

Pevnost materiálu u každého druhu dvouvrstvého laminátu se vždy měřila pětkrát. V tabulce 26 jsou zaznamenány průměrné hodnoty z naměřených dat a následně statisticky vyhodnoceny.

Tabulka 26: Zobrazuje průměrné naměřené hodnoty pevnosti dvouvrstvého laminátu.

	Průměrná pevnost [N]	Rozptyl s^2	Směrodatná odchylka s	Variační koeficient v	95% Interval spolehlivosti L_d	95% Interval spolehlivosti L_h
1.PVA	478,50	1201,01	34,66	7,24	435,47	521,53
2.PUR	219,15	842,10	29,02	13,24	183,11	255,18



Graf 20: Průměrné pevnosti materiálu.

Z grafu 20 jsou viditelné průměrné naměřené hodnoty vrchového materiálu, samotných vyrobených membrány a dvouvrstvého laminátu. Laminováním vrchová textilie ztratila pevnost. U vytvořeného laminátu s membránou, který obsahuje polyvinylalkohol se pevnost snížil o cca 10N, ale naopak od samotné membrány se pevnost mnohonásobně zvýšila. Vytvořený laminát s membránou obsahující polyuretan vykazoval pevnost 219,15N, tudíž z toho vyplývá, že pevnost se oproti samotné membráně o mnoho zvýšila. Ve srovnání se samotným vrchovým materiálem je pevnost dvouvrstvého laminátu o více jak polovinu menší.

8.3. Diskuse výsledků

Prvním krokem bylo vytvořit hydrofilní membránu pro oděvní účely s obsahem nanovláken. K dispozici jsme měli dva odlišné polymery, z nichž jeden byl polyvinylalkohol a druhý byl polyuretan. Z těchto dvou polymerů jsme namíchaly podle základní receptury dva roztoky. Před samotným nanášením roztoku jsme nejdříve vymýšleli, jaký druh podložky bude vhodný pro nanášení roztoku na nanovlákenou vrstvu. Po několika nezdařených pokusech, kdy jsme do sušárny dali zasušit vzorek a ten jsme pak nemohli odlepit např. od povoskovaného papíru, máslového papíru, drátěného pletiva atd. Nakonec jsme zvolili silikonovou formu, která je určena na pečení v běžných

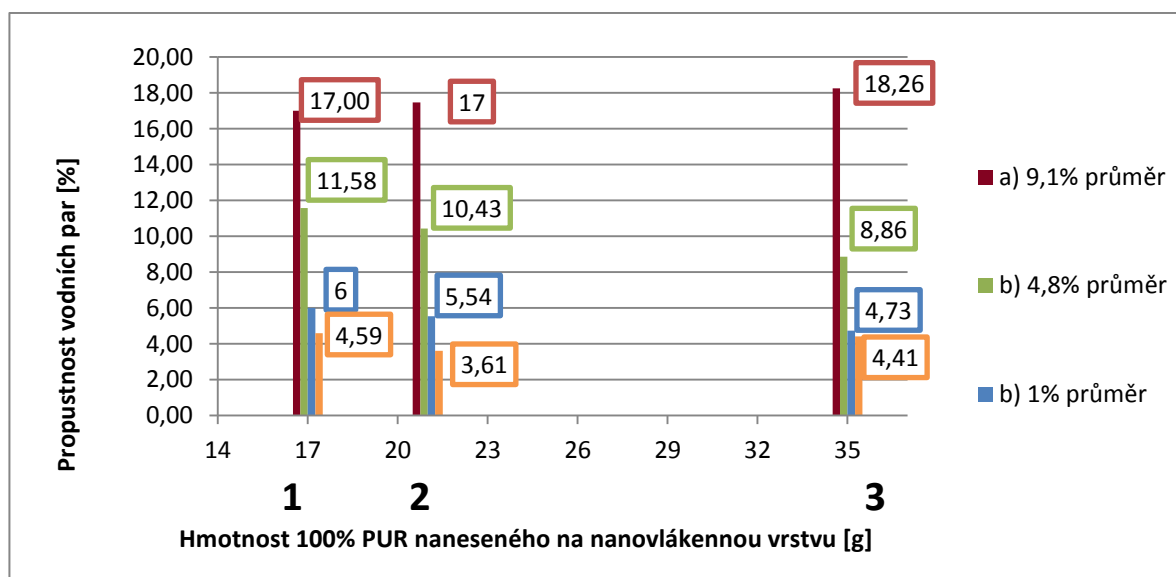
domácnostech. Tato silikonová forma nás omezovala ve vytvoření většího vzorku jak 20x20cm, ale pro předem zvolená laboratorní měření tyto rozměry vyhovovaly.



Obr.33: Navážení potřebného množství roztoku na nanovláknennou vrstvu a následné rozetření roztoku pomocí klocovacího válečku, v silikonové formě proběhlo i zasoušení.

Pro experimentální měření byla navržena následující laboratorní měření plošná hmotnost, tloušťka materiálu, prodyšnost, paropropustnost, hydrostatická odolnost a doplňující zkouškou byla pevnost. Nanesli dva odlišné polymerní roztoky na membrány a podrobili je některým laboratorním testům prodyšnosti, paropropustnosti a hydrostatické odolnosti.

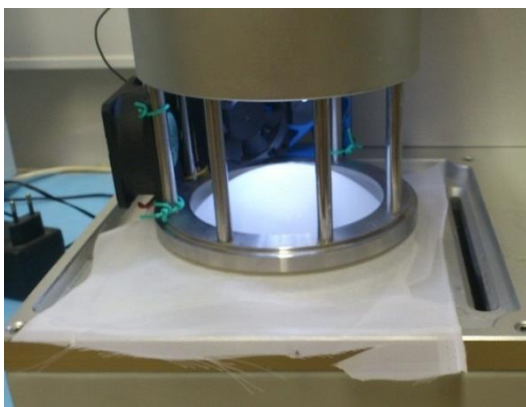
U vytvořené membrány, která obsahovala v roztoku složkou polyvinylalkohol, byly výsledky měření vyhovující. Opakem tomu bylo u vyrobené membrány, která obsahovala v roztoku složku polyuretan, kdy výsledky měření byly neuspokojivé, a tak se navrhly dvě varianty modifikace. První modifikací bylo do základního roztoku přidat složku glycerol, jak se však ukázalo později o moc lepší výsledky vzorků membrán, tato modifikace nevykazovala. Již při přidání do základního roztoku složku glycerol se vytvářela z této přidané složky tvrdá kapka, která se následným rozmícháním zcela neroztýlila do celého objemu roztoku. Ale přesto jsme vytvořili potřebný počet prototypů membrán, abychom jich měli dostatek pro zkušební měření. Následné experimentální měření ukázalo, že přidání do základního roztoku obsahující polyuretan o složku glycerol není vhodná. Přistoupili jsme tedy k další variantě přidat do základního roztoku složku slovasol. Do základního roztoku jsme zvolili tři různé koncentrace přidání slovasolu (**1.:** 9,1%, **2.:** 4,8%, **3.:** 1%). Tyto tři koncentrace slovasolu do základního roztoku se nejvíce projevíly ve vylepšení propustnosti vodních par viz následující graf 22.



Graf 21: Průměrné hodnoty propustnosti vodních par.

Z grafu 21 je vidět, že oproti původní receptuře roztoku obsahujícího polyuretan a první modifikace o složku slovasol vzrostla paropropustnost o cca 15%.

Dále byly vyhovující membrány do sportovních oděvů podrobeny ostatním testům, které byly předem stanoveny. Plošnou hmotnost a tloušťku materiálu jsme stanovili pro lepší popsání vzorků. Hydrostatická odolnost byla u všech druhů membrán měřena třikrát a za stejných podmínek nárůstu tlaku 60cm H₂O/min. do upínacích čelistí se společně s membránou vkládala textilní mřížka, kterou lze vidět na obr. 33. Až na jeden druh membrány (vyrobená membrána 3.: 31 g 100%PVA/m²) splnily všechny druhy vyrobených hydrofilních membrán hranici výšky vodního sloupce pro outdoorové materiály ($\geq 10\,000$ mm).



Obr.34: Experimentální měření hydrostatické odolnosti membrány s vloženou textilní mřížkou.

Prodyšnost u všech druhů vyrobených membrán vykazovala nulovou hodnotu.

Doplňující zkouškou byla pevnost, kdy jsme museli změnit upínací délku (10cm) a šířku (3cm) vzorku, jelikož jsme nebyli schopni vyrobit v laboratorních podmínkách větší vzorek jak 20x 20 cm. Samotná pevnost membrán byla malá a pohybovala se u membrány obsahující roztok polyvinylalkohol nad 31N. U membrán obsahující roztok polyuretan se pevnost pohybovala přes 13N, ale s přidáním do roztoku složku slovasol pevnost klesala, až s největší koncentrací slovasolu až na hodnotu pevnosti 5,88N.

Od každého ze dvou různých roztoků jsme vybrali jednu membránu a z té jsme vytvořili dvouvrstvý laminát, který jsme podrobili stejným zkouškám, jako samotnou membránu.

Porovnání námi naměřených výsledků s některými dostupnými výsledky světových výrobců. Plošná hmotnost u dvouvrstvého laminátu s membránou, která obsahovala polyvinylalkohol je $130,4\text{g/m}^2$ o něco menší hmotnost byla naměřena u laminátu, který obsahoval polyuretan $125,6\text{g/m}^2$. Odlišnost v plošných hmotnostech je ve výsledném oděvu zanedbatelná. Však firma BlokVent u dvouvrstvého laminátu udává plošnou hmotnost 115g/m^2 . Námi vytvořená tenčí membrána, než ta, co jsme laminovali, vykazovala podobných výsledků jako membrána později nalaminovaná, ale při výrobě se hůře nanášel roztok a u některých vzorků nedošlo k úplnému zalití nanovláken a dále byla membrána pro experimentální měření vyřazena. Jedním z možných řešení k vylepšení receptury a následnému zlepšení hodnot v experimentálním měření by šel použít řidší koncentrát roztoku, nebo by mohla být použita jiná vrchová textilie o menší plošné hmotnosti.

Tloušťka materiálu byla v našem experimentu u dvouvrstvého laminátu, který obsahoval v membráně polyvinylalkohol naměřena hodnota 0,237mm a u laminátu, který v membráně obsahoval polyuretan byla tloušťka 0,224mm. Výrobce hydrofilních membrán však udává hodnotu samotné membrány, a ta se pohybuje v rozmezí od $5\mu\text{m}$ do $0,005\text{mm}$ a u mikroporézní od $25\mu\text{m}$ do $35\mu\text{m}$. My jsme však nejtenčí membránu vyrobili 0,042mm a pro dvouvrstvý laminát jsme použili membránu, u které byla naměřena tloušťka 0,064mm. Kdy tedy tloušťku materiálu lze ovlivnit naneseným roztokem, ale v laboratorních podmínkách se nám tenčí membrána nepovedla vyrobit, jelikož se nedalo zabránit ani nestejněměrné tloušťce, kdy pro rozetření naneseného roztoku byl požit

klocovací váleček. Lepší variantou by bylo požit fulár, kdy by nános roztoku byl více stejnoměrný.

100% větruodolnost samotných membrán jak udávají mnozí výrobci např. firma Sympatex se nám povedlo také docílit. Však u dvouvrstvého laminátu obsahující membránu polyvinyalkoholovou byla prodyšnost naměřena $0,237 \text{ l/m}^2/\text{s}$ a u druhého laminátu obsahující membránu polyuretanovou byla prodyšnost naměřena $0,196 \text{ l/m}^2/\text{s}$.

Však u hodnot výparného odporu např. dává firma Sympatex až hodnotu $R_{et}=0,05 \text{ Pa.m}^2/\text{W}$, kdy v našem experimentu byla nejnižší hodnota naměřena u dvouvrstvého laminátu obsahující polyvinylalkoholovou membránu a to $R_{et}=5,66 \text{ Pa.m}^2/\text{W}$. u druhého laminátu obsahující membránu polyuretanovou byla tato hodnota velmi vysoká $R_{et}=40,02 \text{ Pa.m}^2/\text{W}$ což i podle tabulky 2 neuspokojivá hodnota.

Výšku vodního sloupce udávají výrobci u dvouvrstvého laminátu 20 000mm až 25 000mm, kdy se nám podařilo s našimi vyrobenými dvouvrstvémi lamináty snadno konkurovat. U laminátu obsahující polyuretan dosahovala hodnota hydrostatické odolnosti 27073mm a u laminátu obsahující polyvinylalkohol tato hodnota byla o něco vyšší, a to 27390mm.

Pevnost jsme u našich vyrobených laminátů neměli s čím porovnat, jelikož výrobci tuto hodnotu neuvádějí a v našem experimentu tato zkouška byla jen doplňující. U dvouvrstvého laminátu, který obsahoval membránu polyvinylalkoholovou byla hodnota naměřena $F=478,5 \text{ N}$ a o více jak dvojnásobně menší pevnost vykazoval laminát obsahující polyuretanovou membránu $F=219,15 \text{ N}$.

Vyrobené membrány byly velmi odlišné polyvinyalkohol se projevoval v lepších naměřených hodnotách, ale v subjektivním posouzení se polyuretanová membrána chovala velice příjemně na dotek.

Proto bychom se mohli v budoucnu zabývat stálým vylepšováním nejen roztoků, ale i samotného nánosu na nanovláknou vrstvu. Roztok bychom mohli připravit koncentrovanější, kdy by se ve finálním výrobku objevilo menší množství nanoseného polymeru a došlo by k lepšímu zalití nanovláken a další výhodou by bylo i snížení finanční stránky. K nanášení polymerní vrstvy bychom mohli použít fulár, kterým bychom docílili stejnoměrnějšího nánosu polymeru oproti klocovacímu válečku, kdy jeho rozetřením roztoku vznikala nestejná vrstva.

IV. ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce byl pokus vyrobit co možná nejlepší dvouvrstvý laminát pro oděvní účely. Dvouvrstvý laminát by měl splňovat maximální paropropustnost, větruodolnost a dostatečný vodní sloupec. V současné době jsou na sportovní membránové oděvy kladeny velké nároky z hlediska uspokojení potřeb zákazníka. Vysoké nároky jsou především zaměřeny na komfort člověka, ale také na vlastnosti, které nemají vliv na komfort např. estetická stánku, trvanlivost materiálu atd.

V úvodu teoretické části je popsáno, co jsou outdoorové oděvy. Dále je kapitola zaměřena na neporézní a mikroporézní membrány a jsou zde také zmíněny někteří výrobci. Stručně je také popsána výroba a druhy laminátů (dvouvrstvý, dvou a půl vrstvý a třívrstvý). Současně byla věnována pozornost výrobě nanovláknenné vrstvy z polyamidu 6 a roztokům které byly na membránu nanášeny.

Experimentální část diplomové práce obsahuje provedení laboratorního experimentu, kdy byly na nanovláknennou vrstvu nanášeny dva odlišné polymerní roztoky, z nichž byla vytvořena hydrofilní membrána. Membrány byly podrobeny laboratornímu měření paropropustnosti, větruodolnosti, hydrostatické odolnosti a doplňující zkouška byla zvolena pevnost materiálu. Na základě prvotního měření bylo rozhodnuto, zda se budou základní roztoky modifikovat. Polyuretanový roztok jsme nejdříve modifikovali o složku glycerol, ale jak ukázaly pozdější testy, tato složka nebyla vhodná. Přistoupilo se k druhé variantě a tou bylo do základního roztoku přidat složku slovasol ve třech různých koncentracích. Výsledné hodnoty měření se nejvíce projeví u výparného odporu. Ze dvou odlišných neporézních membrán, které byly vytvořeny nanesení polymerních roztoků na nanovláknennou vrstvu, byl následně vytvořen dvouvrstvý laminát, který jsme podrobili stejným testům jako samotné membrány. Při laboratorním měření bylo naměřeno mnoho hodnot, které byly zpracovány pomocí základní statistiky a následně pro lepší znázornění byly použity grafy, ve kterých jsou hodnoty zaznamenány.

Námi vyrobené membrány by se určitě dali použít pro některé svrchní membránové oděvy.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Výrobce GORE-TEX®: Membrána. W.L. GORE & ASSOCIATES GMBH. GORE-TEX.CZ[online]. [cit.2011-11-12]. Dostupné z: <<http://www.gore-tex.com/>>.
- [2] Český výrobce pláštěnek MLAŘ DLK TEX s.r.o. Plastenky.com [online]. [cit.2012-01-12]. Dostupné z: <http://www.plastenky.com/index.php?cont=odkaz_01>.
- [3] Sympatex membrane: Struktura & Function. SYMPATEX TECHNOLOGIES GMBH. SympaTex [online]. [cit. 2012-01-13]. Dostupné z: <<http://www.sympatex.com/>>.
- [4] Jumpsport prodej oblečení pro sport[online]. [cit.2012-01-17]. Dostupné z: <<http://jumpsport.cz/poradna/vite-co-si-oblekate/>>.
- [5] Popis materiálů firmy Gelanost [online]. [cit.2012-01-17]. Dostupné z: <<http://www.pinguincz.cz/en/materialy.php>>.
- [6] Růžičková, J.: Elektrostatické zvlákňování nanovláken, Technická univerzita v Liberci, Liberec 2004
- [7] Elmarco [online]. [cit. 2012-03-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.elmarco.com/technology/charakteristika-nanovlaken/>>.
- [8] Košťáková Eva: Úvod do nanomateriálů a nanotechnologie, úvod do textilních nanomateriálů [online]. [cit. 2012-03-24]. Dostupné z WWW: <http://www.ft.tul.cz/depart/knt/nanotex/predn%C3%A1%C5%A1ka%201_uvod_do_nano_materialu_na%20web.pdf>.
- [9] Jirsák, O., Kalinová, K.: Netkané textilie, Technická univerzita v Liberci, Liberec 2003
- [10] Hes, L., Sluka, P.: Úvod do komfortu textilií, Technická univerzita v Liberci, Liberec 2005
- [11] Svět outdooru [online]. [cit. 2012-04-06]. Dostupné z WWW: <<http://www.svetoutdooru.cz/clanek/?107716-vite,-co-si-oblekate?-ii>>.

- [12] TU v Liberci: Způsob výroby nanovláken z polymerního roztoku elektrostatickým zvláknováním a zařízení k provádění způsobu, CZ Patent 294274, 2003-2421.
- [13] Dombrow, B. A.: Polyuretany, SNTL, Praha 1961.
- [14] Mleziva, J.: Polymery - struktura, vlastnosti a použití, SOBOTÁLES, Praha 1993.
- [15] Rec, V., Hampl, M., Smutný, J.: Podlepování součástí svrchních oděvů. Praha: SNTL Praha, 1990, 1. vydání. ISBN 80-03-00242-7.
- [16] Knížek, R. Polopropustné nanovláknenné membrány pro oděvní účely. Liberec, 2010. Diplomová práce. TUL. Vedoucí práce Prof. Oldřich Jirsák.
- [17] Klubovna Carpio-regalis [online]. [cit. 2012-05-11]. Dostupné z WWW: <<http://carpio-regalis.webnode.cz/news/pva-materialy-polyvinylalkohol/>>.
- [18] Velký lékařský slovník [online]. [cit. 2012-05-11]. Dostupné z WWW: <<http://lekarske.slovníky.cz/lexikon-pojem/polyvinylalkohol-zkr-pval>>.
- [19] EURO-Šarm, spol. s r.o., distributor chemikálií [online]. [cit. 2012-11-02]. Dostupné z WWW: <<http://www.eurosarm.cz/web/umkatalogdoc/4929.pdf>>.
- [20] Popis výrobků firmy BlokVent [online]. [cit. 2012-06-06]. Dostupné z WWW: <<http://www.highpoint.cz/materialy.html>>.
- [21] Diapatex [online]. [cit. 2012-3-6]. Dostupné z WWW: <www.diapex.com>.
- [22] Technologie podlepování [online]. [cit. 2012-10-06]. Dostupné z WWW: <http://www.kod.tul.cz/ucebni_materialy/tvarovani/podlepovani/podlepovani.htm>.
- [23] DUCHÁČEK, Vratislav. Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT v Praze, Praha 2006.
- [24] Obrázek přístroje na měření prodyšnosti. [online]. [cit. 2012-10-07]. Dostupné z WWW: <<http://www.liberohk.com/products/fx3300.htm>>

- [25] Schéma vodního sloupce. [online]. [cit. 2012-10-23]. Dostupné z WWW: <<http://www.outdoor-shop.cz/slovník-pojmu/vodni-sloupec> >
- [26] Společnost SD Atlas. [online]. [cit. 2012-10-23]. Dostupné z WWW: <<http://www.sdatlas.com/product/55/Hydrostatic-Head-Tester> >
- [27] NIS Elements [online]. [cit. 2012-10-24]. Dostupné z WWW: <http://www.lim.cz//files/File/NIS-Elements/Docs/Prospekt_NIS-Elements.pdf>.
- [28] Militký, Obrazová analýza a Matlab. Dostupné z WWW: <http://centrum.tul.cz/centrum/centrum/1Projektovani/1.2_publikace/%5B1.2.12%5D.pdf>
- [29] Manuál k rastrovacímu elektronovému mikroskopu Vega. Dostupný u Ing. Jany Grabmüllerové (technik pro rastrovací elektronovou mikroskopii a konfokální mikroskopii) na Katedře textilních materiálů FT TUL
- [30] Košťáková Eva, Testování nanovlákných materiálů [online]. [cit.2012-10-26]. Dostupné z WWW: <http://www.ft.vslib.cz/depart/knt/web/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=176&Itemid=36>.
- [31] Mleziva, J., Kálal, J.: Základy makromolekulární chemie. Praha: SNTL Praha, 1986.
- [32] Ottův naučný slovník, Glyoxal [online]. [cit.2012-10-26]. Dostupné z WWW: <<http://leccos.com/index.php/clanky/glyoxal-2>>.
- [33] Velký lékařský slovník, Kyselina fosforečná [online]. [cit.2012-10-28]. Dostupné z WWW: <<http://lekarske.slovníky.cz/pojem/kyselina-fosforecna>>.
- [34] Destilovaná voda [online]. [cit.2012-11-02]. Dostupné z WWW: <<http://www.destilovana-voda.cz/o-destilovane-vode/>>.
- [35] Zjišťování plošné hmotnosti [online]. [cit.2012-11-08]. Dostupné z WWW: <http://www.kod.tul.cz/predmety/POV/Tem_okruhy_teorie/POV_T/Plo%C5%A1n%C3%A11%20hmotnost.pdf >

[36] Popis dimethylformamidu [online]. [cit.2012-11-11]. Dostupné z WWW: <<http://www.toxcenter.de/stoff-infos/d/dimethylformamid.pdf>>.

[37] Periodická tabulka [online]. [cit.2012-11-26]. Dostupné z WWW: <<http://www.prvky.com/35.html>>.

[38] Popis chemické látky :SLOVASOL[online]. [cit.2012-11-26]. Dostupné z WWW: <<http://www.odpadoveforum.cz/OF2011/dokumenty/prispevky/038.pdf>>.

Seznam tabulek

Tabulka 1: Fyzikální vlastnosti polyamidu 6, zdroj [23].

Tabulka 2: Klasifikace prodyšnosti materiálů dle stávajících ISO norem. [11]

Tabulka 3: Závislost teploty při určité rychlosti větru, zdroj [10].

Tabulka 4: Ekvivalentní výšky vodního sloupce k různým činnostem, zdroj [11].

Tabulka 5: Chemický popis polyvinylalkoholu.[14,19]

Tabulka 6: Zobrazuje průměrné naměřené hodnoty plošné hmotnosti vzorků membrány s roztokem obsahující PVA.

Tabulka 7: Zobrazuje průměrné naměřené hodnoty plošné hmotnosti vzorků membrány s roztokem obsahující PUR.

Tabulka 8: Zobrazuje průměrné naměřené hodnoty tloušťky materiálu membrány s roztokem PVA.

Tabulka 9: Zobrazuje průměrné naměřené hodnoty tloušťky materiálu membrány s roztokem PUR.

Tabulka 10: Průměrné hodnoty výšky vodního sloupce a statistické zpracování u roztoku PVA.

Tabulka 11: Průměrné hodnoty výšky vodního sloupce a statistické zpracování u roztoku PUR.

Tabulka 12: Průměrné hodnoty výšky vodního sloupce a statistické zpracování u roztoku PUR modifikovaný o slovasol.

Tabulka 13: Průměrné naměřené hodnoty propustnosti vodních par (PVA), které jsou dále statisticky vyhodnoceny.

Tabulka 14: Zobrazuje průměrné naměřené hodnoty výparného odporu (PVA), které jsou dále statisticky vyhodnoceny.

Tabulka 15: Průměrné naměřené hodnoty propustnosti vodních par (PUR), které jsou dále statisticky vyhodnoceny.

Tabulka 16: Zobrazuje průměrné naměřené hodnoty výparného odporu (PUR), které jsou dále statisticky vyhodnoceny

Tabulka 17: Průměrné naměřené hodnoty propustnosti vodních par u modifikovaného roztoku obsahující PUR.

Tabulka 18: Průměrné naměřené hodnoty výparného odporu u modifikovaného roztoku obsahující PUR.

Tabulka 19: Základní statistické vyhodnocení pevnosti membrán.

Tabulka 20: Průměrné plošné hmotnosti u dvouvrstvého laminátu.

Tabulka 21: Průměrné hodnoty tloušťky materiálu u dvouvrstvého laminátu.

Tabulka 22: Zobrazuje průměrné hodnoty prodyšnosti dvouvrstvého laminátu.

Tabulka 23: Zobrazeny průměrné výšky vodního sloupce.

Tabulka 24: Průměrné naměřené hodnoty propustnosti vodních par dvouvrstvého laminátu.

Tabulka 25: Zobrazuje průměrné naměřené hodnoty výparného odporu dvouvrstvého laminátu.

Tabulka 26: Zobrazuje průměrné naměřené hodnoty pevnosti dvouvrstvého laminátu.

Seznam obrázků

Obr. 1: Funkce membrány.

Obr. 2: Mikroporézní membrána, zdroj [4].

Obr. 3: Odvod vlhkosti neporézní (hydrofilní) membránou firmy Sympatex, zdroj [3].

Obr. 4: Chemický transport potu na vnější stranu textilie a dále do oklního prostředí, firma Sympatex, zdroj [3].

Obr. 5: Funkce membrány GORE-TEX®, zdroj [1].

Obr. 6: Řez membránou Gelanots, zdroj [5].

Obr. 7: Třívrstvý laminát.

Obr. 8: Dvou a půl vrstvý laminát.

Obr. 9: Dvouvrstvý laminát.

Obr. 10: Znázornění spojitě pojivé vrstvy.

Obr. 11: Znázornění nespojitě pojivé vrstvy (vytvořený a) posypem, b) tiskem, c) bikomponentní bod).

Obr. 12: Zařízení pro nanosování hlubotiskem prášku.

Obr. 13: Pásový podlepovací stroj, zdroj [22].

Obr. 14: Schéma principu elektrostatického zvlákňování – vertikální kapilára, zdroj [6].

Obr. 15: Taylorův kužel, zdroj [6].

Obr. 16: Řez zařízením Nanospider, který vyrábí nanovlákná elektrostatickým zvlákňováním, zdroj [12].

Obr. 17: Snímek z elektronového rastrovacího mikroskopu VEGA TS 5130, na které je nanovláknenná vrstva (PA6) vyrobená firmou Elmarco.

Obr.18: Schéma rastrovacího elektronového mikroskopu, zdroj [30].

Obr.19: Schéma přístroje Permetest, zdroj [10].

Obr.20: Přístroj FX 3300 pro měření propustnosti textilií pro vzduch firmy TEXTTEST AG, zdroj [24].

Obr.21: Zjednodušený obrázek měření vodního sloupce, zdroj [25].

Obr.22: Přístroj pro měření vodního sloupce (Hydrostatic – Head – Tester M018), zdroj [26].

Obr.23: Přístroj pro měření tloušťky materiálu (SDL M 034 A).

Obr.24: Popis trhacího přístroje LabTest 2.05, zdroj [38].

Obr.25: Upnutí vzorku hydrofilní membrány do horní části trhacího přístroje LabTest 2.05.

Obr.26: Upnutí vzorku dvouvrstvého laminátu do trhacího přístroje M350-5CT.

Obr.27.: Nanovláknenná membrána při zvětšení 5000x.

Obr.28.: Nanovláknenná membrána, na které je z pravé části nanesen roztok s obsahem polyvinylalkoholu při zvětšení 5000x.

Obr.29.: Nanovláknenná membrána, na které je z pravé části nanesen roztok s obsahem polyuretanu při zvětšení 5000x.

Obr.30.: Kontinuální podlepovací stroj MEYER RPS- MINI.

Obr.31: Řez dvouvrstvého laminátu, kdy je na nanovláknennou vrstvu nanesen roztok s obsahem PVA.

Obr.32: Řez dvouvrstvého laminátu, kdy je na nanovláknennou vrstvu nanesen roztok s obsahem PUR.

Obr.33: Navážení potřebného množství roztoku na nanovláknennou vrstvu a následné rozetření roztoku pomocí klocovacího válečku, v silikonové formě proběhlo i zasoušení.

Obr.34: Experimentální měření hydrostatické odolnosti membrány s vloženou textilní mřížkou.

Seznam grafů

Graf 1.: Procentuální vyjádření roztoku s obsahem PVA.

Graf 2.: Procentuální vyjádření roztoku s obsahem PUR.

Graf 3: Procentuální vyjádření roztoku při první modifikaci.

Graf 4: Procentuální vyjádření roztoku při druhé modifikaci.
Graf 5: Procentuální vyjádření roztoku při třetí modifikaci.
Graf 6: Průměrná výška vodního sloupce u roztoku PVA .
Graf 7: Průměrná výška vodního sloupce u roztoku PUR.
Graf 8: Průměrná výška vodního sloupce u roztoku PUR modifikovaného o slovasol.
Graf 9: Paropropustnost vodních par u roztoku obsahující PVA.
Graf 10: Výparného odporu u roztoku obsahující PVA.
Graf 11: Porovnání průměrných propustností vodních par u roztoku obsahující PUR.
Graf 12: Výparného odporu u roztoku obsahující PUR.
Graf 13: Průměrné hodnoty propustnosti vodních par u modifikovaného roztoku obsahující PUR.
Graf 14: Průměrné hodnoty výparného odporu u modifikovaného roztoku obsahující PUR.
Graf 15: Průměrná pevnost membrán.
Graf 16: Průměrné hodnoty prodyšnosti dvouvrstvého laminátu.
Graf 17: Průměrná výška vodního sloupce.
Graf 18: Průměrné hodnoty propustnosti vodních par.
Graf 19: Průměrné hodnoty výparného odporu.
Graf 20: Průměrné pevnosti materiálu.
Graf 21: Průměrné hodnoty propustnosti vodních par.

Seznam příloh

Příloha 1: Vzorník materiálů.
Příloha 2: Naměřené hodnoty.

Příloha 1: Vzorník materiálů.

Membrána obsahující polyvinylalkohol:

1.: 15,5 g 100%PVA/m² (125g/m² nezasušeného roztoku naneseného na nanovláknennou vrstvu)

2.: 18,6 g 100%PVA/m² (150g/m² nezasušeného roztoku naneseného na nanovláknennou vrstvu)

3.: 31 g 100%PVA/m² (250g/m² nezasušeného roztoku naneseného na nanovláknennou vrstvu)

Membrána obsahující polyuretan:

1.: 17,6 g 100% PUR/m² (125g/m² nezasušeného roztoku naneseného na nanovláknennou vrstvu)

2.: 21,1g 100%PUR/m² (150g/m² nezasušeného roztoku naneseného na nanovláknennou vrstvu)

3.: 35,2 g 100%PUR/m² (250g/m² nezasušeného roztoku naneseného na nanovláknennou vrstvu)

**První modifikace membrány obsahující v roztoku 9,1%
slovasolu:**

1.: 16,0 g 100% PUR/m² (125g/m² nezasušeného roztoku naneseného na nanovláknennou vrstvu)

2.: 19,2g 100%PUR/m² (150g/m² nezasušeného roztoku naneseného na nanovláknennou vrstvu)

3.: 32,0 g 100%PUR/m² (250g/m² nezasušeného roztoku naneseného na nanovláknennou vrstvu)

První modifikace membrány obsahující v roztoku 4,8%

slovasolu:

1.: 16,8 g 100% PUR/m² (125g/m² nezasušeného roztoku naneseného na nanovláknennou vrstvu)

2.: 20,1 g 100%PUR/m² (150g/m² nezasušeného roztoku naneseného na nanovláknennou vrstvu)

3.:33,5 g 100%PUR/m² (250g/m² nezasušeného roztoku naneseného na nanovláknennou vrstvu)

První modifikace membrány obsahující v roztoku 1%

slovasolu:

1.: 17,4 g 100% PUR/m² (125g/m² nezasušeného roztoku naneseného na nanovláknennou vrstvu)

2.: 20,9 g 100% PUR/m² (150g/m² nezasušeného roztoku naneseného na nanovláknennou vrstvu)

3.: 34,9 g 100% PUR/m² (250g/m² nezasušeného roztoku naneseného na nanovláknennou vrstvu)

Dvouvrstvý laminát:

Vrchový materiál:

Lícní strana

Rubní strana

Laminát PVA:

Lícní strana

Rubní strana

Laminát PUR

Lícní strana

Rubní strana

Příloha 2: Naměřené hodnoty.

A) HMOTNOSTI MATERIÁLŮ

Hmotnost materiálu byla naměřena na vzorku 100mmx100mm vždy pětkrát a následně přepočítána na g/m^2 . Membrány jsou vyrobeny ve třech různých hmotnostech, kdy nezasušený vzorek vážil **A) 125g/m², B) 150g/m², C) 250g/m²**.

Tabulka 1p: Naměřené hodnoty hmotnosti materiálů.

		Základní roztok PVA	Základní roztok PUR	1.Modifikace a) 9,1%	2.Modifikace b) 4,8%	3.Modifikace c) 1%
		m [g/m^2]	m [g/m^2]	m [g/m^2]	m [g/m^2]	m [g/m^2]
A	1.	32,01	29,3	29,3	29,3	29,3
	2.	31,76	29,6	29,6	29,6	29,6
	3.	30,89	29,2	29,2	29,2	29,2
	4.	31,38	29,5	29,5	29,5	29,5
	5.	31,93	29,4	29,4	29,4	29,4
B	1.	32,58	30,6	30,6	30,6	30,6
	2.	31,82	30,9	30,9	30,9	30,9
	3.	32,87	31,2	31,2	31,2	31,2
	4.	32,48	30,8	30,8	30,8	30,8
	5.	32,95	30,5	30,5	30,5	30,5
C	1.	48,93	39,57	39,57	39,57	39,57
	2.	49,12	39,42	39,42	39,42	39,42
	3.	49,11	39,58	39,58	39,58	39,58
	4.	48,89	39,75	39,75	39,75	39,75
	5.	48,63	39,76	39,76	39,76	39,76

Tabulka 2p: Naměřené hodnoty hmotnosti materiálů.

	Nanovlákněná vrstva	Vrchová textilie	Dvouvrstvý laminát s obsahem PVA	Dvouvrstvý laminát s obsahem PUR s 1.modifikací
	m [g/m^2]	m [g/m^2]	m [g/m^2]	m [g/m^2]
1.	0,048	84,9	130,1	126,2
2.	0,045	86,2	131,2	125,4
3.	0,04	85,3	130,6	124,9
4.	0,049	85,8	130,3	125,7
5.	0,053	85,6	129,8	125,8

B) TLOUŠŤKA MATERIÁLU

Tloušťka materiálu byla vždy u každého druhu materiálu naměřena pětkrát. Membrány jsou vyrobeny ve třech různých hmotnostech, kdy nezasušený vzorek vážil **A) 125g/m², B) 150g/m², C) 250g/m²**.

Tabulka 3p: Naměřené hodnoty tloušťky materiálů.

		Základní roztok PVA	Základní roztok PUR	1.Modifikace a) 9,1%	2.Modifikace b) 4,8%	3.Modifikace c) 1%
		h [mm]	h [mm]	h [mm]	h [mm]	h [mm]
A	1.	0,13	0,03	0,03	0,03	0,03
	2.	0,11	0,04	0,04	0,04	0,04
	3.	0,1	0,03	0,03	0,03	0,03
	4.	0,12	0,06	0,06	0,06	0,06
	5.	0,12	0,05	0,05	0,05	0,05
B	1.	0,19	0,06	0,06	0,06	0,06
	2.	0,15	0,08	0,08	0,08	0,08
	3.	0,17	0,05	0,05	0,05	0,05
	4.	0,22	0,06	0,06	0,06	0,06
	5.	0,18	0,07	0,07	0,07	0,07
C	1.	0,28	0,08	0,08	0,08	0,08
	2.	0,33	0,09	0,09	0,09	0,09
	3.	0,26	0,09	0,09	0,09	0,09
	4.	0,3	0,11	0,11	0,11	0,11
	5.	0,34	0,12	0,12	0,12	0,12

Tabulka 4p: Naměřené hodnoty tloušťky materiálů.

	Nanovláknenná vrstva	Vrchová textilie	Dvouvrstvý laminát s obsahem PVA	Dvouvrstvý laminát s obsahem PUR s 1.modifikací
	h [mm]	h [mm]	h [mm]	h [mm]
1.	0,01	0,17	0,28	0,2
2.	0,01	0,16	0,33	0,24
3.	0,01	0,16	0,25	0,24
4.	0,01	0,17	0,26	0,21
5.	0,01	0,16	0,29	0,23

C) PROPUSTNOST VODNÍCH PAR

Na přístroji PERMETEST byl materiál vždy podroben zkoušce desetkrát. Membrány jsou vyrobeny ve třech různých hmotnostech, kdy nezasušený vzorek vážil A) 125g/m², B) 150g/m², C) 250g/m².

Tabulka 4p: Naměřené hodnoty propustnosti vodních par.

		Základní roztok PVA		Základní roztok PUR		1.Modifikace a) 9,1%		2.Modifikace b) 4,8%		3.Modifikace c) 1%	
		p[%]	R _{et} [Pa. m/W]	p[%]	R _{et} [Pa. m/W]	p[%]	R _{et} [Pa. m/W]	p[%]	R _{et} [Pa. m/W]	p[%]	R _{et} [Pa. m/W]
A	1.	18,4	27,4	4,7	125,5	16,4	31,6	13,1	42,2	5,5	115
	2.	21,2	22,7	4,5	129,2	14,5	36,2	10,8	54,2	6,3	98,7
	3.	20	24,6	4,2	138	13	41,5	13,2	43,8	6,4	98,8
	4.	19,5	25,9	4,5	132,6	18,4	28,2	12,4	46,6	5,6	112,9
	5.	19,2	27,4	4,8	122,6	18,5	27,7	11,8	49,2	5,8	103,4
	6.	23,4	21,1	4,9	119,4	15,3	34,6	10,6	55,4	6,5	96,1
	7.	24,3	20,6	4,8	123,7	22,2	22,2	10,5	57,5	6,4	97,5
	8.	20,8	23,7	4,6	128,9	18,9	26,9	10,1	60,2	6	114,8
	9.	22,4	20,2	3,7	126,6	18,5	27,7	10,9	53,4	5,7	108,2
	10.	19,3	27,7	5,2	123,9	14,3	38,1	12,4	46,5	5,8	103,4
B	1.	31,5	14,4	3,7	159,6	16,5	31,1	11,9	49,5	5	124,3
	2.	24	21	2,5	237,1	17,8	28,8	10,2	58,5	5,6	112,5
	3.	30,3	15,7	3,3	178,3	17,2	30,2	9,4	64,1	5,7	109,6
	4.	20	27	4	148,7	22,3	21,4	9,5	63,5	6,1	102,7
	5.	31,2	14,9	3,6	161,4	19,4	24,6	9,7	60,8	5,5	114,2
	6.	25,7	22	3,1	193	16,4	29,8	9,5	61,5	5,1	120,1
	7.	28,1	17,5	4,2	137,4	15,8	31,1	10,2	58,4	5,8	107,3
	8.	27,3	17,8	4,2	139,5	15,7	31	11,3	56,6	5,4	117,9
	9.	26,7	18,3	3,8	152,8	15,8	31,4	12,1	46,7	5,5	114,4
	10.	24,1	21,2	3,7	157,2	17,8	28,8	10,5	54,2	5,7	109,5
C	1.	27,4	16,5	4,5	135,7	22,4	20,6	8	74,4	4,4	144,3
	2.	23	20,9	4,3	140,4	13,7	36,9	9,3	62,8	4,5	143,1
	3.	28,9	15,1	4,4	135,9	17,5	27,7	8,1	74,2	5	126,8
	4.	27	16,5	4,7	127,4	19,8	23,8	10,4	55,6	4,8	133,2
	5.	28,9	15,3	4,2	144,5	19,8	23,9	8,5	70,1	4,9	135,3
	6.	33,7	12,3	4	151	18,4	28,1	9,1	65,5	4,5	141,4
	7.	30,8	13,9	4,5	136,2	22,3	21,5	8,9	71,8	4,6	140,1

	8.	23,8	20,1	4,6	132,5	17,7	28	10,4	55,6	5	126,7
	9.	25,6	18,2	3,7	169,2	16,9	32	7,9	81,1	4,9	135,2
	10.	26,9	17	5,2	123,2	14,1	36,5	8	75,6	4,7	138,1

Tabulka 5p: Naměřené hodnoty propustnosti vodních par.

	Nanovláknenná vrstva		Vrchová textilie		Dvouvrstvý laminát s obsahem PVA		Dvouvrstvý laminát s obsahem PUR s 1.modifikací	
	p[%]	R _{et} [Pa. m/W]	p[%]	R _{et} [Pa. m/W]	p[%]	R _{et} [Pa. m/W]	p[%]	R _{et} [Pa. m/W]
1.	100	0,0	91,1	0,8	51,7	5,2	15,9	31,4
2.	100	0,0	91,9	0,7	53,8	4,7	13,7	37,7
3.	100	0,0	88,3	1	49,7	5,8	11,9	42,5
4.	100	0,0	92,5	0,6	53,8	5	11,5	44,6
5.	100	0,0	92,7	0,9	43,6	7,6	11,6	43,9

D) PRODYŠNOST MATERIÁLU

Membrány jsou vyrobeny ve třech různých hmotnostech, kdy nezasušený vzorek vážil A) 125g/m², B) 150g/m², C) 250g/m².

Tabulka 5p: Naměřené hodnoty prodyšnosti materiálu.

		Základní roztok PVA	Základní roztok PUR	1.Modifikace a) 9,1%	2.Modifikace b) 4,8%	3.Modifikace c) 1%
		Prodyšnost [l/m ² /s]	Prodyšnost [l/m ² /s]	Prodyšnost [l/m ² /s]	Prodyšnost [l/m ² /s]	Prodyšnost [l/m ² /s]
A	1.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	2.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	3.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	4.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	5.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
B	1.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	2.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	3.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	4.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	5.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C	1.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	2.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	3.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	4.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	5.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabulka 6p: Naměřené hodnoty prodyšnosti materiálu.

	Nanovláknenná vrstva	Vrchová textilie	Dvouvrstvý laminát s obsahem PVA	Dvouvrstvý laminát s obsahem PUR s 1.modifikací
	Prodyšnost [l/m ² /s]	Prodyšnost [l/m ² /s]	Prodyšnost [l/m ² /s]	Prodyšnost [l/m ² /s]
1.	1,424	98,2	0,23	0,195
2.	1,372	92,5	0,228	0,202
3.	1,256	90,6	0,292	0,18
4.	1,118	97,1	0,221	0,198
5.	1,502	93,8	0,215	0,207

E) HYDROSTATICKÁ ODOLNOST

Membrány jsou vyrobeny ve třech různých hmotnostech, kdy nezasušený vzorek vážil A) 125g/m², B) 150g/m², C) 250g/m².

Tabulka 7p: Naměřené hodnoty hydrostatické odolnosti.

		Základní roztok PVA	Základní roztok PUR	1.Modifikace a) 9,1%	2.Modifikace b) 4,8%	3.Modifikace c) 1%
		Výška vodního sloupce [mmH ₂ O]	Výška vodního sloupce [mmH ₂ O]	Výška vodního sloupce [mmH ₂ O]	Výška vodního sloupce [mmH ₂ O]	Výška vodního sloupce [mmH ₂ O]
A	1.	16020	18100	26500	22040	26490
	2.	12790	22400	26380	26470	24270
	3.	19570	16580	25420	25200	25800
B	1.	20700	21270	26440	26940	26450
	2.	14840	24780	26470	26370	26490
	3.	18220	23920	26620	26520	25870
C	1.	4150	26520	26460	26480	26500
	2.	8120	18470	26500	25810	25920
	3.	5340	22930	26330	25260	26750

Tabulka 8p: Naměřené hodnoty hydrostatické odolnosti.

	Nanovláknenná vrstva	Vrchová textilie	Dvouvrstvý laminát s obsahem PVA	Dvouvrstvý laminát s obsahem PUR s 1.modifikací
	Výška vodního sloupce [mmH ₂ O]	Výška vodního sloupce [mmH ₂ O]	Výška vodního sloupce [mmH ₂ O]	Výška vodního sloupce [mmH ₂ O]
1.	150	163	25730	26420
2.	138	170	28460	27870
3.	151	142	27980	26930

F) PEVNOST MATERIÁLU

Membrány jsou vyrobeny ve třech různých hmotnostech, kdy nezasušený vzorek vážil A) 125g/m², B) 150g/m², C) 250g/m².

Tabulka 8p: Naměřené hodnoty pevnosti materiálu.

		Základní roztok PVA		Základní roztok PUR		1.Modifikace a) 9,1%		2.Modifikace b) 4,8%		3.Modifikace c) 1%	
		Pevnost [N]	Prodlouž ení [mm]	Pevnost [N]	Prodlouž ení [mm]	Pevnost [N]	Prodlouž ení [mm]	Pevnost [N]	Prodlouž ení [mm]	Pevnost [N]	Prodlouž ení [mm]
A	1.	28,8	1,88	14	57,94	5,56	87,6	8,02	63,71	10,01	52,29
	2.	32,33	2,11	13,03	57,88	6,5	95,75	7,81	57,11	8,93	51,72
	3.	27,85	1,93	11,57	40,23	6,46	89,43	9,15	53,28	10,16	57,66
	4.	38,61	2,59	12,94	66,16	5,36	81,09	8,49	69,83	10,32	62,75
	5.	30,78	1,66	14,15	60,52	5,69	95,18	7	56,92	12,49	65,09
B	1.	31,58	2,19	14,21	61,34	5,99	92,41	8,72	44,54	11,24	48,02
	2.	38,51	1,89	14,41	72,33	5,58	85,32	10,84	44,86	14,27	65,88
	3.	26,02	2,07	13,3	55,24	5,62	78,61	12,49	55,02	13,08	51,96
	4.	27,77	1,64	13,25	58,47	5,51	82,39	8,3	46,85	11,72	53,83
	5.	35,48	1,59	12,89	46,6	6,71	95,19	10,21	50,15	12,81	65,42
C	1.	39,72	1,47	18,4	43,06	7,77	64,25	7,66	84,2	12,14	66,68
	2.	37,69	1,44	13,54	32,25	6,98	57,43	7,56	98,54	13,32	60,22
	3.	41,57	1,19	14,14	34,55	8,06	56,55	7,48	79,82	12,02	73,16
	4.	41,3	1,13	17,43	58,74	7,12	55,37	8,08	82,52	12,43	59,42
	5.	36,28	0,93	18,58	62,28	8,71	61,6	7,32	76,77	10,68	58,56

Tabulka 9p: Naměřené hodnoty pevnosti materiálu.

	Vrchová textilie		Dvouvrstvý laminát s obsahem PVA		Dvouvrstvý laminát s obsahem PUR s 1.modifikací	
	Pevnost [N]	Prodloužení [mm]	Pevnost [N]	Prodloužení [mm]	Pevnost [N]	Prodloužení [mm]
1.	480,6	38,26	496,28	34,29	218,45	19,23
2.	483,97	38,29	466,46	33,68	234,49	19,78
3.	508,3	38,78	426,33	31,3	259,29	20
4.	461,39	38,46	485,22	35,1	194,9	17,22
5.	510	38,37	518,2	35,58	188,6	16,48